PETROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN PLUTONISCHER GESTEINE VON ECUADOR

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Naturwissenschaften
der Geowissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

vorgelegt von
Samir Aly
aus Tanta / Ägypten

1980

PETROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN PLUTONISCHER GESTEINE VON ECUADOR

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Naturwissenschaften
der Geowissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

vorgelegt von
Samir Aly
aus Tanta / Ägypten

1980

Gedruckt mit Unterstützung
des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD).

Tag der mündlichen Prüfung:	7. November 1980
Dekan:	Professor Dr. J. Wendt
1. Berichterstatter:	Professor Dr. H. Pichler
2. Berichterstatter:	Professor Dr. W. Weiskirchner

REFO-DRUCK HANS VOGLER TÜBINGEN

INHALTSVERZEICHNIS I

ZUSAMMENFASSUNG IV

0. Vorwort 1
1. Einleitung 2
1.1. Geographische Übersicht von Ecuador 2
1.2. Geologische Übersicht 4
1.3. Ältere Arbeiten 6
1.4. Problemstellung 9
1.5. Methodik 11
1.5.1. Polarisations-Mikroskopie 11
1.5.2. Gesteinsanalysen 11
1.5.3. Mineralanalysen 11
1.5.4. Normative Berechnungen mittels EDV 12
1.5.5. Röntgenographie 12
1.5.6. Absolute Altersbestimmungen 12
2. Petrographie der Plutonite 15
2.1. Verbreitung 15
2.1.1. Allgemeines 15
2.1.2. Gruppe I: Oriente 16
2.1.3. Gruppe II: Ost-Kordillere 17
2.1.4. Gruppe III: West-Kordillere 20
2.1.5. Gruppe IV: Küstengebiet 23
2.2. Qualitative und quantitative Petrographie 24
2.3. Petrographische Beschreibung der Proben 31
2.3.1. Gruppe I: Oriente 31
2.3.1.1. Tena-Baeza-Pluton 31
2.3.1.2. Zamora-Pluton 36
2.3.2. Gruppe II: Ost-Kordillere 38
2.3.2.1. Santa Barbara-Pluton 38
2.3.2.2. Chuga-Pluton 40
2.3.2.3. Papallacta-Pluton 41
2.3.2.4. Bungala-Pluton 42
2.3.2.5. Alao-Pluton 44
2.3.2.6. Amaluza-Pluton 45
2.3.2.7. San Lucas-Pluton 45
2.3.2.8. Anhang: Sabanilla-Orthogneis-Komplex 47

2.3.3. Gruppe III: West-Kordillere 49
2.3.3.1. Piedrancha-Pluton 49
2.3.3.2. Cuellaje-Pluton 49
2.3.3.3. Macuchi-Pluton 50
2.3.3.4. Ventanas-Pluton 51
2.3.3.5. Caluma-Pluton 52
2.3.3.6. Monjas-Pluton 52
2.3.3.7. Telimbela-Pluton 52
2.3.3.8. Bilevan-Pluton 53
2.3.3.9. Guayquichuma-Pluton 55
2.3.3.10. Cariamanga-Macará-Pluton 55
2.3.4. Gruppe IV: Küstengebiet 56
2.3.4.1. Gomez-Pluton 56
2.3.4.2. Pascuales-Pluton 56
2.4. Verteilung der plutonischen Gesteine in Ecuador 70
2.4.1. Allgemeines 70
2.4.2. Tonalit 71
2.4.3. Granodiorit 71
2.4.4. Monzogranit 72
2.4.5. Alkaligranit 73
2.4.6. Quarz-Diorit 73
2.4.7. Quarz-Gabbro 74
2.4.8. Quarz-Norit 74
3. Petrochemie der Plutonite 76
3.1. Gesteinsanalysen - Hauptelemente 76
3.2. Gesteinsanalysen - Spurenelemente 96
3.3. Mineralanalysen 104
3.3.1. Feldspäte 104
3.3.1.1. Alkali-Feldspäte 104
3.3.1.2. Plagioklas 108
3.3.2. Biotit-Reihe 110
3.3.3. Chlorit-Gruppe 120
3.3.4. Amphibol-Gruppe 123

4. Absolute Altersbestimmungen 132

5. Vergleich mit anderen Plutonit-Körpern der Anden und der S-Alpen 142

5.1. Altersstellung und geographische Verbreitung kolumbischer Plutonite 144

5.2. Altersstellung und geographische Verbreitung peruanischer Plutonite 151

5.3. Altersstellung und geographische Verbreitung bolivischer Plutonite 163

5.4. Altersstellung und geographische Verbreitung chilenischer Plutonite 170

5.5. Petrochemischer Vergleich ecuadorischer Plutonite mit den übrigen Andenländern und dem Adamello-Tonale-Gebiet 194

LITERATURVERZEICHNIS 205

ZUSAMMENFASSUNG

Die mir gestellte Aufgabe, die zahlreichen aus Ecuador vorliegenden Proben plutonischer Gesteine petrologisch zu bearbeiten, führte zu folgenden Ergebnissen:

1. Zunächst wurde das Material qualitativ und quantitativ im Dünnschliff untersucht. Diese Untersuchungen umfassten alle herkömmlichen mikroskopischen Methoden einschließlich der U-Tisch-Mikroskopie zur Ermittlung des Anorthit-Gehaltes der Plagioklase, der Auslöschungsschiefe der Amphibole, etc. Mit diesen detaillierten mikroskopischen Untersuchungen, deren Ergebnisse ausführlich in dieser Arbeit dargelegt sind, existieren erstmals petrologische Daten über viele Tiefengesteins-Vorkommen in Ecuador.

2. 42 repräsentative Proben wurden auf ihre Hauptelement-Gehalte hin analysiert. Von einem Teil der Proben wurden auch Spurenelement- - Gehalte ermittelt.

3. Die geochemischen Untersuchungen erstreckten sich auch auf Arbeiten mit der Mikrosonde. Es wurde die chemische Zusammensetzung der wichtigsten gesteinsbildenden Minerale dieser Plutonite, nämlich der Feldspäte, Biotite und Chlorite sowie der Amphibole, festgestellt.

4. Die Auswertung der modalen Mineralbestände und der aus den Analysen errechneten Normen ergab eine ausgeprägte Zonierung der Plutone in den vier geologischen Großeinheiten Ecuadors. Im östlichen Teil, dem Oriente, herrschen Granite und Alkaligranite vor. Im Bereich der Ost-Kordillere sind Granodiorite stark vertreten. Im Gebiet des Interandinen Grabens und der West-Kordillere sowie dem Küstenbereich bestehen die Plutone vorwiegend aus tonalitischen Gesteinstypen. Das heißt, daß von West nach Ost die Tiefengesteine zunehmend saurer werden.

5. Vergleicht man die Plutonite des Küstenbereiches der West-Kordillere und des Interandinen Grabens mit den oberkretazischen Vulkaniten des Basic Igneous Complex (BIC), die große Teile dieses Gebietes

zusammensetzen, so stellt man eine enge geochemische Verwandtschaft fest. Das bedeutet, daß die Genese dieser tonalitischen Schmelzen im Zusammenhang mit der Bildung dieser BIC-Magmen gesehen werden muß. Vulkanite wie Plutonite gehören damit genetisch zusammen, sie sind also gleiche Bildungen, allerdings unterschiedlicher Fazies.

6. Die geochemische Zusammengehörigkeit der BIC-Vulkanite und -Plutonite besteht auch hinsichtlich ihres Alters. Insgesamt konnten von sieben repräsentativen Proben K/Ar-Bestimmungen in Auftrag gegeben werden. Die Plutonite aus der W-Kordillere und dem Küstengebiet ergaben Werte zwischen 73 und 78 Millionen Jahren (Obere Kreide - Senon). Acht K/Ar-Alter von BIC-Vulkaniten des Küstengebietes, die in der Literatur vorliegen, schwanken zwischen 54 und 110 bei einer Häufung der Werte zwischen 65 und 85 Mill. Jahren. Damit besteht zwischen den BIC-Vulkaniten und -Plutoniten auch zeitlich eine enge Verwandtschaft.
   Demgegenüber sind die Plutonite des Oriente wesentlich älter, nämlich zwischen 170 - 190 Mill. Jahren (Dogger - Lias). Die jüngsten Alter stammen aus der Ost-Kordillere und dem östlichen Randbereich des Interandinen Grabens; sie liegen zwischen 52 und 34 Mill. Jahren, das entspricht Eozän bzw. Oligozän. Möglicherweise stehen die jüngsten Alter (um 30 Mill. Jahre) mit dem beginnenden Einbruch des Interandinen Grabens in Zusammenhang.

7. Interessant ist die mikroskopische Beobachtung, daß die Feldspäte vieler tonalitischer Plutone im Bereich des Küstengebietes und der West-Kordillere eine mehr oder weniger starke Zonierung aufweisen. Daraus läßt sich schließen, daß diese Tiefengesteins-Körper relativ flache Intrusionen darstellen und teilweise Übergänge in Subvulkanite repräsentieren. Auch diese Tatsache steht in Einklang mit der genetischen und zeitlichen Zusammengehörigkeit dieser Plutonite mit den sie umgebenden Vulkaniten des BIC.

8. Statistische Untersuchungen ergaben, daß das nahezu über das gesamte Land verteilte Probenmaterial prozentual wie folgt zusammengesetzt wird:
   50% Tonalite, 20% Granodiorite, 20% Granite und Alkaligranite und 10% Quarz-Diorite, Quarz-Gabbros und Quarz-Norite.

9. Ein Vergleich der untersuchten ecuadorischen Plutonite mit den Tiefengesteinen der übrigen Andenländer (Kolumbien, Peru, Bolivien und Chile) ergab, daß die Plutonite des zentralen und südlichen Anden-Bereiches einem Differentiations-Trend folgen, der, ausgehend von dioritischen und gabbroiden Typen, über Granodiorite zu Graniten und Alkaligraniten führt. Dieser Trend gleicht damit auffällig dem der jungen Vulkanite dieses Raumes. Es ist eine typisch kontinentale Entwicklung. Demgegenüber sind die Plutonite des westlichen Teiles von Ecuador und Kolumbien durch Kalium--Armut gekennzeichnet. Sie entsprechen damit Tonaliten, deren Chemismus dem von Inselbogen-Vulkaniten gleicht. Kontinentale Plutonit-Typen treten in den beiden nördlichen Andenländern erst im Bereich Zentral- bzw. Ost-Kordillere sowie im Oriente auf. Es ist der Bereich, der eine kontinentale Kruste aufweist.

10. Ein Vergleich der ecuadorischen Tonalite mit den Tonaliten der Typlokalität des Tonale-Gebietes (Adamello-Pluton, S-Alpen) zeigte, daß zwischen beiden Tonalit-Typen zwar Ähnlichkeiten bestehen, denen jedoch auffallende Abweichungen im K_2O-Gehalt gegenüberstehen. Die südalpinen Tonalite sind K-reichere (kontinentale) Tiefengesteine, die der Nordanden dagegen K-arme (Inselbogen) Typen.
11. Die quantitativ sehr umfangreichen statistischen Vergleiche der Plutonite der Anden erstreckten sich nicht nur auf den Chemismus sondern auch auf das Alter der Gesteine. Das statistische Material wurde in zahlreichen Tabellen und Diagrammen zusammengestellt. Eine solche Zusammenstellung existierte bisher nicht.

12. Die Mikrosonden-Analysen der Minerale ecuadorischer Plutonite ergaben, daß innerhalb der einzelnen Plutone Differentiationen nachzuweisen sind. Diese sind jedoch nicht sehr stark ausgeprägt.

0. Vorwort

Die Anregung zu vorliegender Arbeit verdanke ich Herrn Prof. Dr. H. PICHLER, Tübingen. Ihm möchte ich hiermit meinen herzlichen Dank für die zahlreichen Hinweise und Ratschläge sowie für sein stetes und besonderes Interesse am Fortgang dieser Arbeit aussprechen.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Dr. R. STENGELIN, Tübingen, für seine Mithilfe bei der Computer-Berechnung der Normen und anderer statistischer Arbeiten sowie für seine kritische Durchsicht eines Teils des Manuskriptes dieser Arbeit.

Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr. P. K. HÖRMANN, Kiel, Herrn Prof. Dr. H. FRIEDRICHSEN, Tübingen, und Herrn Dr. S. HOERNES, Bonn, für die Ausführung von Haupt- und Spurenelement-Analysen.

Wertvolle Hilfe leisteten:
Herr D. MANGLIERS, Tübingen (Ausführung von Mikrosonden-Analysen) sowie Herr J. MÄLLICH, Tübingen (Anfertigung zahlreicher Dünn- und Anschliffe), Frl. C. SCHMITT, Tübingen (sprachliche Durchsicht meines Manuskriptes), Frau S. ALY (Ausführung der Zeichenarbeiten) und nicht zuletzt Frau I. FREY (Reinschrift der Arbeit).

Dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) und der Studienmission der Arabischen Republik Ägypten danke ich für die Gewährung eines mehrjährigen Studien-Stipendiums in der Bundesrepublik Deutschland. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützte dankenswerterweise die Arbeit durch die Bereitstellung von Sachmitteln (AZ Pi 39/32), u. a. für die Anfertigung von sieben absoluten Altersdatierungen.

1. Einleitung

1.1. Geographische Übersicht

Die Republik Ecuador ist eines der kleinsten Länder Südamerikas. Sie liegt im Nordwesten des Subkontinents und wird in ihrem nördlichen Teil vom Äquator geschnitten, der dem Land seinen Namen gegeben hat. Die Republik umfasst 283.561 km^2 Fläche mit 7,56 Mill. Einwohnern.

Das Land wird im Westen vom Pazifischen Ozean, im Norden von Kolumbien und im Osten und Süden von Peru begrenzt. Ecuador erstreckt sich beiderseits des Äquators bis 1^{o} N- und 5^{o} S-Breite. Es wird in drei geographische Grosseinheiten gegliedert, nämlich (Abb. 1):

1. Das Küstengebiet, das mit Guayaquil den grössten Hafen des Landes besitzt und gegen den zentralen Teil durch die Tiefebene des Guayas-Flusses abgegrenzt wird.
2. Das andine Gebiet, das von den beiden Kordilleren und dem dazwischenliegenden interandinen Hochtal gebildet wird. Die West-Anden (Cordillera Occidental) haben im Chimborazo (6.267 m)ihre höchste Erhebung; die durchschnittliche Höhe dieses Gebirges liegt um 4.000 m. Die Ost-Kordillere (Cordillera Oriental), die sich in der Zentral-Kordillere Kolumbiens fortsetzt, hat Höhen zwischen 4.000 bis 5.000 m. Der interandine Graben, in dem die Landeshauptstadt Quito (mit mehr als 0,5 Mill. Einwohnern) liegt, hat Höhen zwischen 2.000 und 3.000 m. Dieses interandine Gebiet wird in einzelne Teilbecken (sogenannte Cuencas) gegliedert. Innerhalb dieses Grabens liegen viele der Vulkane von Ecuador, unter ihnen der noch tätige Cotopaxi (5.897 m).
3. Als Oriente wird das Gebiet östlich der Ost-Kordillere bezeichnet. In diesem Gebiet entspringen einige der Quellflüsse des Amazonas. Dieser stark bewaldete Teil des Landes wird von mehreren niedrigen Gebirgszügen, den sogenannten subandinen Ketten, durchzogen. Die Höhe des östlichen Landesteiles liegt zwischen etwa 1.000 m im Westen und 200 m im Osten.

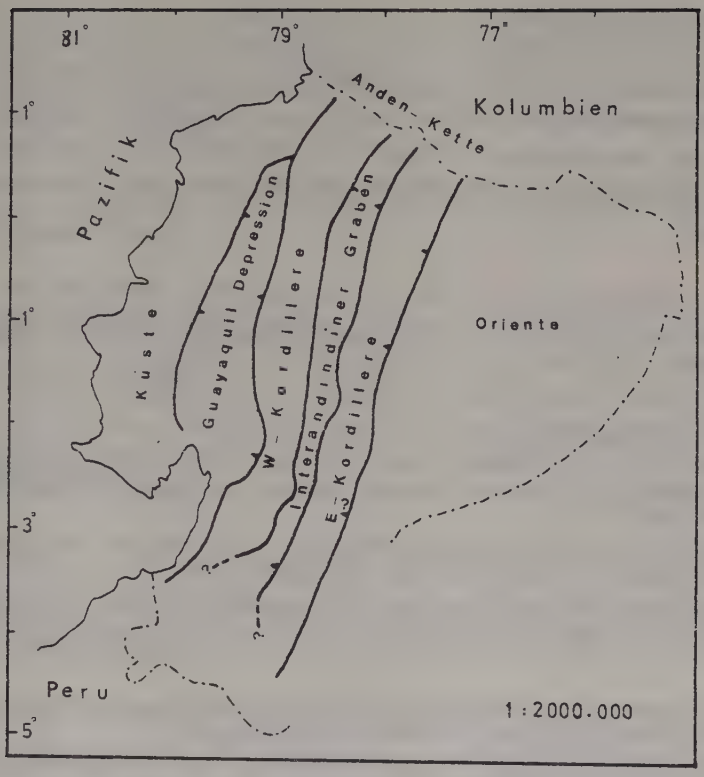


Abb. 1: Morphogenetische Grosstrukturen von Ecuador; aus GOOSSENS (1970).

1.2. Geologische Übersicht

Die zahlreichen, in Ecuador vorkommenden plutonischen Körper sind auf den beigegebenen Karten (Taf. 1 u. Abb. 1) übersichtlich zusammengestellt. Ihr geologischer Verband ist der Taf. 1, vereinfacht nach der "Mapa Geológico de la Republica del Ecuador" 1: 1 000 000 (1969), zu entnehmen.

Folgende geologische Formationen sind in Ecuador nachgewiesen: Präkambrium?, unteres Paläozoikum?, Karbon, Jura, Kreide, Tertiär und Quartär.

Präkambrium und Paläozoikum

Die ältesten Gesteine Ecuadors sind im Raum der Ost-Kordillere innerhalb der metamorphen Serien anzutreffen und werden nach dem Metamorphose-Grad gegliedert in:

a) Alte, nur lokal auftretende, hoch- bis ultrametamorphe Kerne, die wahrscheinlich dem Präkambrium zuzuordnen sind,

b) jüngere, niedrig- bis mittelgradig metamorphe Para- und Ortho-Gesteine, die quantitativ sehr stark vertreten sind und von HERBERT (1977) dem unteren Paläozoikum zugeschrieben werden, sowie

c) "semimetamorphe" Schiefer an der W- und E-Flanke der Ost-Kordillere, die wahrscheinlich dem Prä-Oberkarbon angehören.

Ferner bilden paläozoische Gesteine den Kern der subandinen Kordillere von Cutucu im Oriente (Pumbuiza-Formation).

Karbon ist bisher nur im nördlichen Teil der subandinen Kordillere von Cutucu nachgewiesen worden. Diese Macuma-Formation wird von Kalksteinen, Lutiten und quarzitischen Sandsteinen mit einer reichen fossilen Fauna gebildet (TSCHOPP 1948, 1956; SAUER 1971).

Trias-Ablagerungen sind vermutlich nur in Süd-Ecuador verbreitet.

Die jurassischen Sedimente der marinen Kalk-Fazies sind im Oriente gut entwickelt und durch die Formationen Santiago (Lias von ca. 2.000 m mittlerer Mächtigkeit) und Chapiza (mittlerer und oberer Jura) vertreten. Ihre größte Ausdehnung zeigt sich im Lias der Cordillera del Condor und ihrer nördlichen Fortsetzung, der subandinen Kordillere von Cutucu.

Kreide-Gesteine finden sich im südlichen Oriente von der (subandinen) Cordillera del Condor nach Norden bis in die Nähe des Pastaza-Flusses, entlang dem Ostabfall der Ost-Kordillere. In größerem Ausmaß überdeckt sie die Napo-Galeras-Aufwölbung.

In der andinen Sierra sind Kreide-Sedimente mit den Vulkaniten des Basic Igneous Complex (Piñon-Formation) verfaltet (laramische Orogenese; SAUER 1971). Diese basischen bis intermediären Vulkanite haben in der West-Kordillere weite Verbreitung, besonders auf deren W-Seite, sowie im Küstenbereich (Kretazischer Vulkanismus; GOOSSENS und ROSE 1973; PICHLER et al. 1974).

Eine genaue Abgrenzung von Kreide und Tertiär ist oft schwierig aufgrund von allmählichen lithologischen Übergangszonen oder tektonischen Komplikationen.

Tertiär

Im Oriente setzt das Tertiär mit einer Übergangsbildung von der Kreide zum Tertiär, der Tena-Formation, ein. In der Sierra ist das Tertiär auf die Interandine Senke und ihre Randbereiche beschränkt, im Küstengebiet dagegen weit verbreitet (Azucar-, Ancon-, Progresso--Formationen). Die letzte Phase der tektonischen Beanspruchung ereignete sich im Jung-Tertiär. Sie ist verantwortlich für die Heraushebung des Anden-Körpers. Zahlreiche Plutone entstanden im Gefolge dieser tektonischen Phase.

Quartär

Die Interandine Senke wird in ihrem nördlichen Teil über weite Flächen von den quartären Produkten der zahlreichen Vulkane und ihrer teilweisen Aufarbeitung eingenommen. Große Verbreitung hat das Quartär in der Guayas-Niederung zwischen der W-Kordillere und dem Küstengebiet.

Die Plutonite von Ecuador haben weite Verbreitung und verschiedene Alter. Im Oriente sind sie jurassisch, in der Ost-Kordillere bzw. im Interandinen Graben Alt-Tertiär, in der West-Kordillere kretazisch bis tertiär und im Küstengebiet kretazisch.

1.3. Ältere Arbeiten

Im 19. Jahrhundert war Ecuador das Ziel bedeutender Forschungsreisen. Damals übten die zahlreichen tätigen und erloschenen Vulkane der Nord-Anden eine besondere Anziehungskraft auf die Naturwissenschaftler aus. Den ersten Höhepunkt stellten die Reisen Alexander von HUMBOLDT's dar. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts führten die Geologen T. WOLF (1875, 1878 und 1892), A. STÜBEL (1897), W. REISS und A. STÜBEL (1892-1898 und 1896-1902) und W. REISS (1904) klassische Arbeiten auf dem Gebiet der Vulkanologie, die grossenteils die Vulkane Ecuadors betrafen, aus. Während ihrer Forschungsreisen in Ecuador hatten REISS und STÜBEL ein umfangreiches Probenmaterial, vorwiegend Vulkanite, aufgesammelt und nach Deutschland gebracht. Mineralogisch-petrographische Untersuchungen dieses Materials wurden vor allem von der Berliner Petrographen-Schule unter C. KLEIN im Rahmen mehrerer Dissertationen ausgeführt (s. Folgendes).

HERZ (1892) untersuchte die Gesteine der ecuadorischen West-Kordillere (fast ausschliesslich Vulkanit-Proben) vom Vulkan Pululagua bis zum Guagua-Pichincha unter petrographischen Gesichtspunkten. Vom Vulkan Pichincha bei Quito beschreibt HERZ (1892, S. 11 - 16) "eine granitartige Ausscheidung oder Gang" sowie mehrere Diorit-Handstücke, die von Geröllen des "Río del Volcan, Río Blanco und Río de Mindo stammen und Quarz-Hornblende-Diorite sind". KLAUTSCH (1893) hat die Gesteine der ecuadorischen West-Kordillere vom Río Hatuncama bis zur Cordillera de Llangagua bearbeitet. Er stellte fest, daß Diorit "westlich vom Cerro Puntas bei Rumipungu, in grossen Felsen am Weg nach Quevedo" ansteht, ferner "in grossen Blöcken beim Aufstieg vom Río Guaiama (ca. 3050 m) nach Chugchilan" und "im Orte Sigchos (2928 m)", außerdem in Form von Geröllen mehrfach "im Río Toachi an der Puente de Sigchos (2497 m)" und in der "Quebrada bei Mulinlivi am Weg von Pujili nach Tiupullo" gefunden wurde.

F. von WOLFF (1904) hat die REISS und STÜBEL'schen Aufsammlungen "älterer Gesteine" der E-Kordillere bearbeitet, unter denen sich neben Gneisen und Amphiboliten sowie anderen metamorphen Gesteinstypen einige Plutonite befinden, die von zwei grösseren Massiven der E-Kordillere, nämlich dem Llanganates- und dem Alao-Massiv, stammen.

Das erste ist dynamometamorph stärker überprägt, seine Gesteine liegen daher in Form von Orthogneisen ("Granitgneisen") vor. Das Alao-Massiv besteht nach F. von WOLFF (1904, S. 265 - 270) "aus einem eigenartigen weißen, mittel- bis grobkörnigen Tiefengestein von durchaus granitischem Habitus". Es nimmt eine mittlere Stellung zwischen "Hornblendegranitit" und "Quarzglimmerdiorit" ein. Wie die vorliegenden Untersuchungen gezeigt haben, ist das Gestein von Alao jedoch ein Granodiorit. Neben diesen sauren Plutoniten lagen von F. von WOLFF (1904, S. 270/71) noch mehrere Einzelproben von Blöcken "heller, fein- bis mittel-körniger Gabbrogesteine" vor, u.a. von Plazabamba am El Altar-Vulkan, aus der Caldera des Rumiñahui und von einem unbestimmten Fundpunkt in der W-Kordillere. Nach den Beschreibungen zu urteilen, handelt es sich nicht um Gabbros, sondern um ausgeworfene intermediäre Subvulkanite.

In Zusammenhang mit dem andinen Plutonismus und Vulkanismus entstanden zahlreiche Erzlagerstätten. STOLL (1965) gliederte den orogenetisch-metallogenetischen Zyklus des Anden-Orogens in fünf Phasen:

a) Mittlere Trias bis Untere Kreide: Subsidenz, basischer bis intermediärer (andesitischer) Vulkanismus mit Cu-, Mn-, Sn-Konzentrationen.
b) Nevadische (Wende Oberjura/Kreide) und laramische Faltung (Oberkreide): granodioritische Intrusionen mit Cu-, Mo-, Fe-, Au-Vererzungen.
c) Abklingende Faltung mit saurem Vulkanismus im Eozän. Porphyry Copper-Erze.
d) Hebung, Faltung, Bruchtektonik und subsequenter basischer Vulkanismus im Miozän und Pliozän mit subvulkanischer Vererzung.
e) Hebung mit kräftigem Vulkanismus im Quartär.

SAUER (1965 und 1971), der als erster eine zusammenfassende, regionale "Geologie von Ecuador" geschrieben hat, erwähnt nur spärlich und sehr knapp das Vorkommen plutonischer Gesteine, vor allem die von Portachuelo und Zumba im äussersten Süden von Ecuador sowie die von San Lucas, von Alao und von La Puerta/Abitagua. Die Beschreibungen sind sehr vage und enthalten keinerlei petrographische oder gar petrochemische Informationen.

KENNERLEY (1973, S. 23/24) befasste sich in seiner "Geology of Loja Province/southern Ecuador" kurz mit den in diesem Gebiet vorkommenden Intrusiva, die er in seiner geologischen Karte 1:250 000 ausgeschieden hat. Von besonderem Wert sind drei absolute Altersbestimmungen.

PUTZER (1976) schrieb ein sehr informatives Werk über die metallogenetischen Provinzen in Südamerika. Er stellte heraus, daß nach den bisherigen radiometrischen Altersbestimmungen die Intrusionen des granitisch-granodioritisch-tonalitischen Plutonismus der Anden-Batholithe sich folgendermaßen gliedern lassen:

340 - 260 Mill. Jahre: Oberes Karbon bis Perm
190 - 120 Mill. Jahre: Jura
105 - 90 Mill. Jahre: Untere Kreide
~ 40 Mill. Jahre: Unteres Tertiär

HERBERT (1977) hat im Rahmen seiner Dissertation die Grünschiefer der Ost-Kordillere Ecuadors untersucht. In seiner Arbeit teilte er u.a. die absoluten Alter von drei Plutonit-Proben, nämlich von dem Granodiorit von Cola de San Pablo (Amaluza-Pluton), dem Biotit-Granit des San Lucas-Plutons sowie dem Biotit-Granit des Tena-Baeza-Plutons mit.

Wie ZEIL in einem Vortrag auf dem 6. Geowissenschaftlichen Lateinamerika-Kolloquium in Stuttgart 1978 zu Recht herausgestellt hat, steht "dem grossen Fortschritt in der Forschung der Vulkanite ein ebenso grosses Defizit in der Kenntnis der Tiefengesteinskörper der Anden gegenüber". ZEIL betonte, daß genaue Daten über den petrologischen Bestand und das Alter fast völlig fehlen. Eine moderne Übersicht über den Gesteinsbestand und den Bau der Anden, einschließlich der plutonischen Gesteine, hat ZEIL in seinem jüngst erschienenen Werk "The Andes" (1979) vorgelegt.

HENDERSON (1979)untersuchte die kretazischen bis eozänen Vulkanite der W-Kordillere. Er teilte in dieser Arbeit auch drei K/Ar-Altersbestimmungen eines Tiefengesteins aus dem Oriente und vom Telimbela-Pluton/West-Kordillere mit.

KEHRER und KAADEN (1979) untersuchten in ihrer Arbeit über die Vulkanite des Basic Igneous Complex (BIC) auch einzelne Proben vom Santa Ana-Pluton und vom Chugchilan-Pluton.

1.4. Problemstellung

In Ecuador treten plutonische Körper recht zahlreich und z.T. sehr ausgedehnt auf. In der "Mapa Geológico de la Republica del Ecuador 1 : 1 Mill. (1969)sind diese Plutone jedoch nur mit einer Signatur ausgeschieden und werden als "Rocas igneas indiferenciadas (Granito, granodiorita, diorita, facies granulada y microgranulada)" zusammengefasst. Unsere Kenntnis dieser Gesteine ist deshalb äußerst spärlich. Es existieren nur wenige Dünnschliffbeschreibungen, chemische Analysen und absolute Altersdaten von diesen Plutoniten.

Im Zuge der Bearbeitung der überwiegend kretazischen Vulkanite des sogenannten Basic Igneous Complex (BIC), die weite Teile der Küstenregion und die W-Kordillere zusammensetzen, durch Angehörige der Tübinger und Kieler Mineralogischen Institute ergab sich die Notwendigkeit, auch die Kenntnis von diesen plutonischen Gesteinen auf einen modernen Stand zu bringen. Da durch die Reisen von Herrn Prof. Dr. H. PICHLER in Ecuador ein reiches Material auch von plutonischen Gesteinen aus Ecuador vorliegt, wurde mir die Aufgabe gestellt, diese Gesteinsproben petrologisch zu bearbeiten. Damit stellt die vorliegende Arbeit eine Fortsetzung und Ergänzung der petrologischen Untersuchungen an Gesteinen von Ecuador dar, die von Herrn Prof. PICHLER betreut wurden nämlich Bearbeitungen von Grünschiefern der E-Kordillere (HERBERT 1977) und von Pyroklastiten des interandinen Längstales (BRAUN 1977).

Die Zielsetzung dieser Arbeit war folgende:

1) Eine qualitative und quantitative mikroskopische Bearbeitung der vorliegenden knapp 100 Proben einschließlich Arbeiten am U-Tisch (zwecks Bestimmung des Anorthit-Gehaltes der Plagioklase, der Auslöschungsschiefe der Amphibole, etc.).

2) Eine geochemische Ermittlung der Haupt- und (ausgewählter) Spurenelement-Gehalte von einem Teil der Proben. Dank der Hilfe durch das Geochemische Zentrallabor der Universität Tübingen und durch Herrn Prof. Dr. P.K. HÖRMANN, Geochemisches Labor des Mineralogischen Institutes der Universität Kiel, konnten 43 Proben analysiert werden, so daß gesicherte geochemische Daten von zahlreichen Plutonen Ecuadors damit vorliegen.

3) Die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung repräsentativer Minerale, nämlich Alkalifeldspat, Plagioklas, Biotit, Chlorit und Amphibol.

4) Die Ermittlung sicherer (absoluter) Altersdaten von repräsentativen Plutonit-Proben Ecuadors und ihre Interpretation. Dank einer Sachbeihilfe der DFG konnten die K/Ar-Alter von sieben Vorkommen per Auftrag bestimmt werden.

5) Ein Vergleich der neu gewonnenen Daten ecuadorischer Plutonite mit den vorliegenden Daten anderer Tiefengesteins-Körper der Anden, und zwar solcher von Kolumbien, Peru, Bolivien und Chile sowie der Tonalite und Granodiorite des Adamello-Tonale-Plutons der Südalpen.

1.5. Methodik (s. Tab. 1)

Bei der Bearbeitung der Gesteinsproben aus Ecuador wurden folgende Untersuchungsmethoden angewandt:

1.5.1. Polarisations-Mikroskopie

Die Dünnschliff-Untersuchungen wurden mit einem Zeiss Polarisations--Mikroskop durchgeführt. Zur Bestimmung des Anorthit-Gehaltes der Plagioklase, der Auslöschungsschiefe der Pyroxene und Amphibole sowie des Achsenwinkels diente ein vierachsiger Zeiss Universal-Drehtisch. Die Auszählung des modalen Mineralbestandes erfolgte in herkömmlicher Weise.

1.5.2. Gesteinsanalysen

Ein Teil der chemischen Analysen (Haupt- und Spurenelemente) konnte mittels der Röntgenfluoreszenz-Apparatur im Labor des Geochemischen Institutes der Universität Tübingen angefertigt werden. Als Standards dienten G-2 für die Granite, GSP-1 für die Granodiorite, Tonalite und Diorite und W-1 für die Gabbros.
Der größere Teil der Analysen wurde im Labor von Prof. Dr. P. K. HÖRMANN/Kiel ausgeführt, wobei das Eisen sowohl in 2-wertiger als auch 3-wertiger Form bestimmt werden konnte.

1.5.3. Mineralanalysen

Die Mineralanalysen wurden an der Tübinger Mikrosonde (Typ ARL-EMX-SM) unter Mithilfe von Herrn D. MANGLIERS angefertigt. Zur Mikrosonden-Analyse dienten polierte Dünnschliffe von 200 bis 300 Å Dicke mit aufgedampfter Kohlenstoffschicht. Bei der Mikrosonden--Analyse können jeweils 9 Elemente in einem Arbeitsgang gleichzeitig gemessen werden. Mittels eines Korrekturprogrammes werden die erhaltenen Werte verfeinert. Es wurde mit Messkonstanten von 15 KV Anregungsspannung und einem Probenstrom von 0.01 Mikroampere gearbeitet. Mit der Mikrosonde wurden chemische Analysen von Alkalifeldspat, Plagioklas, Biotit, Chlorit und Amphibol durchgeführt.

1.5.4. Normative Berechnungen mittels EDV

Aus den chemischen Analysen wurden im Rechenzentrum der Universität Tübingen die RITTMANN- und CIPW-Normen sowie weitere petrologische Parameter errechnet. Ein Teil der Diagramme wurde mittels Plotter--Programmen hergestellt, ebenso der Ausdruck der Analysen- und Norm--Tabellen mittels eines klischierfähigen Computer-Ausdruckes.

1.5.5. Röntgenographie

Von einigen der untersuchten Proben wurden auf dem Röntgendiffraktometer (Cu K_{α}) im Winkelbereich 5 - 70° Pulveraufnahmen angefertigt.

1.5.6. Absolute Altersbestimmung

Die Altersbestimmungen wurden nach auswärts in Auftrag gegeben (Geochron Laboratories, Cambridge/Mass., USA). Diese Datierungen erfolgten nach der Kalium/Argon-Methode. Mittels dieser Methode wurden sieben Plutonit-Vorkommen datiert.

Tab. 1 : Verwendete Untersuchungs-Methoden für die einzelnen Proben

Proben-No.	Petrographie	Modus	Haupt-elemente	Spuren-elemente	Mineral-analyse	Röntgeno-graphie	K/Ar	Mikro-aufnahme
I-1	X	X	X	X	X	X	X	X
I-2	X	X	X	X				X
I-3	X	X	X	X		X		X
I-4	X	X						
I-5	X	X	X	X	X			X
I-6	X	X	X	X		X		X
I-7	X	X					X[1)]	X
I-8	X	X	X	X				X
I-9	X							X
I-10	X							X
I-11	X	X	X	X				X
I-12	X	X	X	X		X		X
I-13	X	X	X	X				
I-14	X							
I-15	X							X
I-16	X				X			X
I-17	X	X	X	X				X
I-18	X							X
I-19	X	X	X	X			X	X
I-20	X							X
I-21	X	X	X	X		X		
II-22	X							X
II-23	X	X	X	X	X			X
II-24	X	X	X	X				X
II-25	X	X	X	X				X
II-26	X							
II-27	X							X
II-28	X	X	X	X	X		X	
II-29	X	X	X	X	X			
II-30	X							
II-31	X							X
II-32	X	X	X	X	X	X		X
II-33	X	X	X	X			X	X
II-34	X							X
II-35	X		X	X				X
II-36	X							X
II-37	X	X	X	X				X
II-38	X	X	X	X	X			X
II-39	X							
II-40	X	X	X	X				X
II-41	X		X	X				
II-42	X							
II-43	X							
II-44	X	X	X	X	X	X		X

[1)] aus HERBERT (1977)

Tab. 1 : Fortsetzung

Proben-No.	Petrographie	Modus	Haupt-elemente	Spuren-elemente	Mineral-analyse	Röntgeno-graphie	K/Ar	Mikro-aufnahme
II-45	X							
II-46	X							
II-47	X		X	X		X		
II-48	X	X	X	X	X		X[2)]	
II-49	X	X	X	X				
II-50	X							X
II-51	X				X			
II-52	X							
II-53	X							X
II-54	X							
II-55	X							X
II-56	X		X	X				
II-57	X							
III-58	X		X					
III-59	X		X			X		
III-60	X				X			
III-61	X	X	X					
III-62	X		X					
III-63	X							
III-64	X					X		
III-65	X		X		X			
III-66	X		X					
III-67	X		X					X
III-68	X		X	X		X		
III-69	X				X			X
III-70	X	X	X		X		X	X
III-71	X							X
III-72	X							X
III-73	X		X					
III-74	X		X	X		X		
III-75	X							
III-76	X			X		X		
IV-77	X		X				X	X
IV-78	X		X					X
IV-79	X		X				X	
IV-80	X							

[2)] aus HERBERT (1977)

2. Petrographie der Plutonite

2.1. Verbreitung plutonischer Körper in Ecuador

2.1.1. Allgemeines

Hierzu Tafel 1.
Ein Blick auf die geologische Übersichtskarte von Ecuador (Mapa Geológico de la República del Ecuador 1 : 1 Million, 1969) zeigt, daß aufgeschlossene Plutone auf drei Bereiche des Landes konzentriert sind, nämlich

a) auf West-Kordillere,
b) den Westrand des Oriente und
c) den Südteil der Republik.

Die Plutone des Oriente-Randgebietes fallen durch ihre ausgedehnte flächenhafte Verbreitung auf; die der beiden übrigen Bereiche sind kleiner, aber zahlreicher. Mit Sicherheit hängen eine Reihe von Vorkommen unterirdisch zusammen, das gilt vor allem für die Tiefengesteins-Körper im Süden Ecuadors. Da grosse Teile der W-Kordillere, vor allem aber die E-Kordillere geologisch noch kaum oder gar nicht erforscht sind, ist damit zu rechnen, daß noch weitere Plutone existieren.

Im Folgenden werden die einzelnen Plutone hinsichtlich ihrer Lage, Ausdehnung und geologischen Position kurz beschrieben. Für diesbezügliche Daten gibt es nur sehr spärliche Literaturquellen: im wesentlichen sind es die Mapa Geológico de la República del Ecuador 1 : 1 Million (1969) und einige wenige Blätter der Mapa Geológico del Ecuador 1 : 100 000, nämlich Blatt 3 JIPIJAPA (1974), 23 ZAPOTILLO (1974), 39 CARIAMANGA (1973), 40 MACARÁ (1974), 54 GIRON (1974), 55 SARAGURO (1973), 56 LOJA (1975), 57 GONZANAMÁ (1975), 71 ALAUSI (1975) und 72 CAÑAR (1975).

Die einzelnen Plutone werden von Ost nach West behandelt und, entsprechend den grossen morphologischen und geologischen Einheiten, in vier Hauptgruppen eingeteilt, nämlich Oriente, E-Kordillere, W-Kordillere und Küstengebiet. Da im Interandinen Graben keine Plutonite aufgeschlossen sind, wird dieser Teil ausgespart; die am äußersten E-Rand des Grabens auftretenden kleinen Plutone von Chuga und Pungala werden der E-Kordillere zugerechnet. Die weitere Unterteilung wird jeweils von Nord nach Süd vorgenommen.

Jene Plutone, von denen Material zur Bearbeitung zur Verfügung stand, sind doppelt unterstrichen. Die Lage der einzelnen Proben ist der Tafel 2 zu entnehmen.

2.1.2. Gruppe I: Oriente

Im Oriente Ecuadors sind drei grosse und zwei kleinere Plutone bekannt, deren Längserstreckung NNE-SSW gerichtet ist, eine Ausnahme bildet der Zamora-Pluton, der N-S-Erstreckung hat.

I-1: Cuchila-Pluton

Dieser erreicht in N-Ecuador eine Länge von ca. 62 km und setzt sich nach S-Kolumbien fort. An der Landesgrenze ist er etwa 25 km breit und verschmälert sich in seinem südlichen Teil, in der Cordillera Lumbaqui, bis auf 5 km Breite. Im Süden wird er vom Vulkan El Reventador, im Westen von Metamorphiten der E-Kordillere und im Osten von der Napo- und der Tena-Formation (Kreide) begrenzt. Nach allen Seiten ist der Kontakt zu den Nebengesteinen tektonisch.

I-2: Tena-Baeza-Pluton (Proben 1 - 14)

Dieser grosse Intrusionskörper ist ca. 12 km lang und nimmt eine Fläche von schätzungsweise 840 km^2 ein. Im Westen wird er auf einer Länge von 70 km von jurassischen Vulkaniten, weiter südlich auf einer Länge von 51 km von kretazischen Serien, hauptsächlich der der Hollin-Formation, tektonisch begrenzt. Gegen Osten setzt ihn ebenfalls eine Bruchzone von kretazischen bis quartären Formationen ab. Aufgrund der untersuchten Proben besteht der Pluton hauptsächlich aus Alkaligranit (No. 3, 4, 5, 8, 9, 12, 13) samt zugehörigen aplitischen Gängen (No. 14). Etwas weniger sauere Gesteinstypen von Monzogranit stammen aus dem Nordteil (No. 1, 2) und dem Süden (No. 6, 7, 11), wo auch Quarzdiorit (No. 10) nachgewiesen werden konnte.

Von SAUER (1971, S. 20/21) wurde das Gestein als "Cerro Abitagua-Granit" bezeichnet:
"Auf der linken Seite des Río Zuñac, bei seiner Mündung in den Pastaza, steigt die senkrechte Wand des roten mikro-pegmatitischen Granits des Cerro Abitagua auf ... In geringer Entfernung den Pastaza abwärts steht der Hauptgranit des Batholithen von etwas rötlicher Färbung an. Durch die Einschaltung von Porphyrit unterbrochen, dehnt sich das Massiv weiter auf eine Entfernung von etwa 15 km bis zum Ort Mera aus, wo es in steilem Abhang zur Amazonas-Ebene abfällt ... Gegen W wird (der Pluton) durch die grosse Verwerfung begrenzt, welche gleichzeitig die Ostgrenze der Depression Margajitas-Topo bildet wie auch die Ostgrenze der Topo-Quijos-Senke, die die Fortsetzung der Margajitas-Topo Depression nach N darstellt".

I-3: Puyo-Plutone

Nordöstlich von Puyo sind drei kleine (ca. 2,4 und 4 km^2), südlich und südöstlich zwei weitere kleine (ca. 1 und 2 km^2) Granit-Vorkommen aufgeschlossen. Wahrscheinlich hängen sie in der Tiefe zusammen. Sie sind von pliozän-quartären Sedimenten umgeben.

I-4: Laupi-Plutonit-Körper

Rund 60 km ostnordöstlich der Stadt General Plaza (Limón) treten fünf kleine Phäno-Granitkörper (der grösste mit ca. 3 km^2 Fläche) zutage. Sie sind in jurassische Vulkanite intrudiert.

I-5: Zamora-Pluton (Proben 15 - 21)

Dieser Körper erreicht eine Länge von gut 100 km; seine Breite ist nicht bekannt (mindestens jedoch sind es 30 km). Er besteht hauptsächlich aus Tonalit (Proben No. 15, 16, 19, 20) und wenig Quarz-Norit (No. 17, 21). Nach W zu wird er tektonisch in Form einer steilen Aufschiebung gegen kretazische Sedimentgesteine und jurassische Vulkanite abgesetzt.

2.1.3. Gruppe II: Ost-Kordillere

Im nördlichen und mittleren Teil der Ost-Kordillere sind nur drei kleine Pluton-Ausbisse bekannt. Im Süden dagegen sind eine Reihe, zum Teil ziemlich ausgedehnte Tiefengesteins-Körper vorhanden, die zumeist an NNE-SSW-streichende, der Längsachse des Gebirges folgende Bruchzonen gebunden sind. Eine Ausnahme bildet der San Lucas-Pluton, der NW-SE-orientiert ist.

II-1: Santa Barbara-Pluton (Proben 22 - 27)

Nahe der N-Grenze des Landes findet man zwischen den Ortschaften Santa Barbara und La Bonita Flussgerölle, unter denen mächtige Blöcke von plutonischen Gesteinen auffallen. Sie müssen von einem nicht allzu weit entfernten Pluton stammen, der jedoch in der Geologischen Übersichtskarte nicht ausgeschieden ist; in der Karte ist hier lediglich ein Areal mit Ultrametamorphose ("Granito de anatexia") angegeben. Der Pluton besteht aus Tonalit (No. 22-25) und Meta-Tonalit (No. 26, 27) und ist teilweise sehr reich an basischen Einschlüssen.

II-2: Chuga-Pluton (Proben 28 - 31)

Der etwa 5 km^2 grosse Ausbiss eines Tonalit-Plutons wird von der Strasse Pinampiro nach Chuga und weiter nach S. Francisco de Sigsibamba gequert. Der Körper liegt auf der westlichen Randstörung der E-Kordillere gegen den Interandinen Graben. Das Gestein tritt in zwei Varietäten auf, zum einen als grobkörniger, dunkler, hornblende-reicher Typ, zum andern in heller, mittelkörniger, biotit-führender Varietät.

II-3: Papallacta-Pluton (Probe 32)

Im Bachschuttfächer etwa 3 km östlich des Ortes Papallacta findet man Blöcke plutonischer Gesteine, die auf einen wohl kleineren Monzogranit-Körper nördlich der Ortschaft hinweisen, der in der Karte nicht angegeben ist.

II-4: Pungala-Pluton (Proben 33 - 39)

Der mindestens 4 km^2 grosse Pluton sitzt wie der Chuga-Pluton (II-2) der westlichen Randstörung der E-Kordillere gegen den Interandinen Graben auf. Er besteht hauptsächlich aus Granodiorit (No. 33 - 39) und wird von neogen-quartären Vulkaniten umgeben.

Diesen Pluton hat schon VON WOLFF (1904, S. 193, 265 - 268) beschrieben und Proben davon untersucht:
"Auf der Westseite der Alao-Kordillere hat Rio Chambo ein das kristalline Gebirge durchbrechendes Granit- und Dioritmassiv angeschnitten" (S. 193). Dieses Massiv "besteht aus einem eigenartigen weißen, mittel- bis grobkörnigen Tiefengestein von durchaus granitischem Habitus. Es nimmt eine mittlere Stellung zwischen Hornblendegranitit und Quarzglimmerdiorit ein. Der herrschende Feldspat ist ein Oligoklas oder Andesin; Orthoklas tritt meist hinter dem Plagioklas sehr zurück und spielt in den häufigsten Fällen nur die Rolle eines accessorischen Gemengteiles, fehlt jedoch fast nirgends. Quarz und Biotit sind die anderen Hauptkomponenten. Accessorische grüne Hornblende ist fast immer vorhanden. Dieser normale Typ nähert sich dem Gabbro, indem ein diallagartiger Pyroxen und auch Hypersthen, ja selbst Olivin accessorisch hinzutreten ..." (S. 265/266).

II-5: Alao-Pluton (Proben 40 - 43)

Fährt man von Pungala in das hochgelegene, aus der E-Kordillere kommende Alao-Tal hinauf, so trifft man in 3130 m Höhe, ca. 3 km westlich der Ortschaft Alao, auf Moränen-Ablagerungen, in denen neben metamorphen Geschieben auch solche plutonischer Gesteine vertreten sind. Es handelt sich neben Orthogneis (No. 43) um Granodiorit (No. 40 - 42).

Es ist wahrscheinlich, daß diese Plutonite einem eigenen Pluton angehören, der weiter östlich in der E-Kordillere zutage bricht. VON WOLFF (1904, S. 265 - 270) nannte diesen Pluton das "Alao-Massiv". Wahrscheinlich ist dieser Tiefengesteins-Körper identisch mit dem Pungala-Pluton (II-4) bzw. letzterer ist ein randlicher Ableger des Alao-Massivs. Diese Frage kann jedoch nur durch Kartierungsarbeiten entschieden werden.

II-6: Amaluza-Pluton (Probe 44)

Um Amaluza, am Oberlauf des in den Oriente entwässernden Río Paute, ist ein Granodiorit-Pluton aufgeschlossen, der auch im geologischen Kartenblatt CAÑAR (No. 72) 1: 100 000 als "granodiorita" bezeichnet ist und etwa 35 km^2 Fläche einnimmt. (In der Geologischen Übersichtskarte von Ecuador sind hier fälschlicherweise zwei Tiefengesteins-Körper eingezeichnet.) Der Pluton ist in niedrig-metamorphe, stark verfältelte, grüne Quarz-Muskowit-Albit-Schiefer eingedrungen. Dabei hat sich ein 10-75 m breiter Kontakthof gebildet (HERBERT 1977, S. 140). Aplitische und phäno-andesitische Gänge durchschlagen sowohl den Granodiorit als auch die metamorphen Serien. Von dem Plutonit existiert eine absolute Altersbestimmung (S. 135).

II-7: Tutupali-Pluton

Der N-S-orientierte, 18 km lange Intrusiv-Körper wird in den geologischen Kartenblättern SARAGURO (No. 55) und LOJA (No. 56) als metasomatischer Granit angegeben. Er ist in metamorphe Serien (Biotit-Gneis) eingedrungen.

II-8: San Lucas-Pluton (Proben 45 - 52)

Der Intrusiv-Körper nimmt eine Fläche von etwa 190 km^2 ein und ist in die am W-Rand der E-Kordillere anstehenden semimetamorphen Serien eingedrungen, die aus stark verfältelten Phylliten, Graphit-Schiefern und quarzitischen Sandsteinen bestehen; im W wird er von den Vulkaniten der Piñon-Formation begrenzt. Die 2 - 3 km mächtige Kontaktzone ist vor allem auf den W- und S-Rand des Intrusiv-Körpers beschränkt, in der die niedrig-metamorphen Serien kontaktmetamorph in Biotit-Glimmerschiefer und Biotitgneise umgewandelt sind (HERBERT 1977, S. 141/142). Eine Reihe syndeformativ gebildeter, aplitischer Gänge und pegmatitischer Gänge (Probe 52) durchsetzen ihn. Die Panamericana durchquert annähernd in N-S Richtung in einem 23 km langen Abschnitt das z.T. stark vergruste Tiefengestein. Der Pluton besteht hauptsächlich aus Granodiorit bis Tonalit (Proben 46 - 49, 51); Augengneis (Probe 50) unmittelbar am Kontakt ist durch Injektion granitisch-pegmatischer Lösungen entstanden. Von dem Plutonit, der von HERBERT (1977) als "Biotit-Granit" bezeichnet wurde, existiert eine absolute Altersdatierung (S. 135).

II-9: Sabanilla-Komplex (Proben 53 - 57)

Dieser rund 50 km^2 grosse Körper wird nach den vorliegenden Proben von Orthogneis zusammengesetzt. In der geologischen Übersichtskarte von Ecuador (1969) soll es sich um einen granitischen Pluton handeln, jedoch schon KENNERLY (1973) bezeichnet diesen Komplex als syntektonisch in die Metamorphite eingedrungenes Gneis-Vorkommen. In den geologischen Kartenblättern LOJA (No. 56) und GONZANAMA (No. 57) ist der Körper als "granito metasomático" ausgeschieden.

II-10: Palanda-Pluton

Der sehr kleine Körper (ca. 3 km^2) wird auf seiner W-Seite von einer Störung begrenzt, an der ein isoliertes Vorkommen von Piñon-Vulkaniten inmitten der Metamorphite der E-Kordillere aufsetzt.

II-11: Palanuna-Pluton

Der etwa 9 km^2 grosse Pluton liegt nahe dem N-Rand des Zumba-Plutons und stellt möglicherweise eine randliche Apophyse dieses Tiefengesteins-Körpers dar.

II-12: Zumba-Pluton

Dieser Körper liegt im äußersten SE-Teil der E-Kordillere Ecuadors und erstreckt sich weiter nach Perú. Nach E zu ist er durch eine Störung erster Ordnung gegen Jura-Kreide-Vorkommen des Oriente begrenzt.

II-13: Portachuelo-Pluton

Am W-Rand der E-Kordillere im südlichsten Teil von Ecuador ist ein weiterer petrologisch nicht bekannter Pluton verbreitet, der sich jenseits der Grenze nach Perú fortsetzt. Eine geologisch unklare Beschreibung gibt SAUER (1971, S. 67).

2.1.4. Gruppe III: West-Kordillere

Da die W-Kordillere zum größten Teil von oberkretazisch-alttertiären Vulkaniten des sogenannten Basic Igneous Complex (BIC; auch als Piñon-Formation bezeichnet) aufgebaut wird, setzen fast alle Plutonit-Körper in BIC-Nebengesteinen auf. Über Plutone in der W-Kordillere von N- bis Zentral-Ecuador hat HENDERSON (1979) einige Aussagen gemacht. Nach ihm werden diese von Quarz-Diorit zusammengesetzt und sind post-eozänen Alters. Nach meinen Untersuchungen dagegen handelt es sich ausnahmslos um Tonalit, überdies sind die Plutone nicht alle im Post-Eozän intrudiert (S. 136).

III-1: Piedrancha-Pluton (Probe 58)

Nahe der N-Grenze von Ecuador, schon auf kolumbianischem Gebiet, ist entlang der wichtigen Querverbindung Tuquerres -- Tumaco ein tonalitischer Pluton aufgeschlossen, von dem die Probe 58 stammt. Aus diesem Grunde ist dieses Intrusivgesteins-Vorkommen hier mit berücksichtigt.

III-2: Maldonado-Pluton

Dieses Tiefengesteins-Vorkommen liegt im Grenzgebiet Ecuador/Kolumbien, westlich von dem quartären Vulkan Chiles.

III-3: Lita-Pluton

Der 65 km^2 grosse, NW-SE-orientierte Körper ist in den BIC intrudiert, wird aber fast gänzlich von neogen-quartären Vulkaniten umrahmt. Östlich davon, im Interandinen Graben, befinden sich noch zwei kleine Plutonit-Körper (5 und 7 km^2).

III-4: Cuellaje-Pluton (Proben 59, 60)

Der rund 50 km lange, NE-SW-gerichtete Pluton wird in seinem S-Teil von sedimentären, meist vulkano-klastischen Oberkreide-Ablagerungen (Cayo de la Sierra) begrenzt, in seinem N-Teil vom BIC. Der Pluton besteht nach den vorliegenden Proben aus Tonalit.

III-5: Santa Ana-Plutone

Der 45 km lange, nur wenige Kilometer breite, NNE-SSW-orientierte Intrusiv-Körper wird fast ganz von der Cayo Rumi-Formation (Paleozän bis unteres Eozän) begrenzt. Etwa 10 km weiter westlich befindet sich ein weiterer, 12 km langer, schmaler Pluton (20 km^2), der in Cayo de la Sierra-Sedimente (Oberkreide) intrudiert ist.

III-6: Chugchilan-Alasi-Pluton

Der 53 km lange, etwa 360 km^2 grosse Tiefengesteins-Körper ist in den BIC intrudiert. Im Süden wurde er vom Vulkan Quilotoa durchschlagen und von dessen Produkten überdeckt; an der W-Seite der Lagune Quilotoa stehen inselförmig ein ca. 2 km^2 grosses Vorkommen von Tiefengesteinen an.

III-7: Macuchi-Pluton (Probe 61)

Dieser kleine Körper (ca. 6 km^2) liegt in der südlichen Fortsetzung des vorher charakterisierten Plutons, von dem er wahrscheinlich eine Fortsetzung darstellt. Er wird von Quarz-Gabbro zusammengesetzt.

III-8: El Corazon-Pluton

Der rundliche, etwa 170 km^2 grosse Körper wird im N und E von jungen Vulkaniten und oberkretazisch-alttertiären Sedimentgesteinen, im W und S vom BIC begrenzt.

III-9: Ventanas-Pluton (Proben 62 - 64)

Der kleine, rund 7 km^2 Fläche einnehmende Tiefengesteins-Körper liegt am W-Rand der W-Kordillere, und zwar am Fuss des Gebirges im Tiefland. Er besteht aus Tonalit.

III-10: Caluma-Pluton (Probe 65)

Der kleine, 10 km^2 umfassende Pluton hat eine analoge Lage wie der Ventanas-Pluton; er liegt südlich von diesem.

III-11: Monjas-Pluton (Probe 66)

Der 230 km^2 grosse, aus Tonalit bestehende Pluton (mit einem maximalen Durchmesser von 30 km) ist in den BIC intrudiert; im E grenzt er an junge Vulkanite.

III-12: Telimbela-Pluton (Probe 67)

Auch dieser 19 km lange, ovale Pluton (80 km^2) besteht aus Tonalit.

III-13: Bilevan-Pluton (Proben 68 - 72)

Der 103 km^2 grosse, im BIC aufsetzende Pluton wird überwiegend von Tonalit aufgebaut, es sind jedoch auch quarz-ärmere Typen vertreten (Quarz-Norit, Probe 68).

III-14: Chillanes-Pluton

Der kleine Tiefengesteins-Körper (ca. 14 km^2) ist in den BIC intrudiert.

III-15: Pallatanga-Pluton

Nach den Angaben auf Blatt ALAUSI (No. 71) 1: 100 000 ist dieser Körper 10,5 km in N-S-Richtung langgestreckt und nimmt etwa 12 km^2 Fläche ein. Er besteht aus Granodiorit.

III-16: Cañar-Plutone

Westlich der Ortschaft Cañar gibt es mindestens fünf kleine Intrusiv-Vorkommen, die von Tonalit zusammengesetzt werden. Einige Informationen über diese Körper werden im UN Technical report No. 15 (1972, S. 8) mitgeteilt. Darin heißt es:
"Die Intrusiva entlang des Río Cañar im Norden sind ziemlich gleichförmig und enthalten keine Sulfide, wohingegen die kleinen Stöcke in der Nähe von San Vicente und San Luis von Tonalit bis Granodiorit zusammengesetzt werden und Pyrit enthalten. Die verschiedene Zusammensetzung der südlichen Intrusiva kann durch eine Wiederaufschmelzung der Rhyolithe erklärt werden".

III-17: Jesus Maria-Pluton
Der kleine, nur etwa 7 km^2 einnehmende Körper liegt am Fuss der W-Kordillere.

III-18: Naranjal-Pluton
Wie der Jesus Maria-Pluton liegt auch dieses 57 km^2 grosse Massiv am Fuss der W-Kordillere.

III-19: Chaucha-Pluton
Der 70 km^2 grosse Pluton ist teils in den BIC, teils in metamorphe Gesteine intrudiert, die hier im W zutage treten und gegen S zu weite Flächen einnehmen.

III-20: Machalera-Pluton
Bei etwa 13 km NE-SW-Ausdehnung nimmt er etwa 50 km^2 Fläche ein.

III-21: Manu-Pluton
Nach den Angaben auf Blatt SARAGURO (No. 55) 1: 100 000 besteht dieser 7 x 2 km grosse Körper aus Biotit-Muskowit-Granit. Er ist von oligozänen Vulkaniten (Chinchillo-Formation) umgeben.

III-22: Zaruma-Pluton
Dieser rund 380 km^2 grosse Batholith ist allseits vom BIC umgeben.

III-23: Gualel-Pluton
Der etwa 21 km N-S-orientierte Körper besteht nach KENNERLY (1973) aus Diorit-Granodiorit. Auf Blatt LOJA (No. 56) ist er als Granodiorit angegeben. Nordöstlich von diesem Körper liegt der San Lucas-Pluton (II-8), etwa 10 km nördlich, im Grenzbereich der Blätter LOJA (No. 56) und SARAGURO (No. 55) befinden sich zwei weitere, als Granit angegebene Plutone.

III-24: Guayguichuma-Pluton (Probe 73)
Der kleine Körper (etwa 13 km^2) setzt in Metamorphiten auf und besteht aus Granodiorit.

III-25: Chagurbamba-Pluton
Das rund 32 km^2 grosse Tiefengesteins-Vorkommen liegt südlich von III-24.

III-26: San Pedro-Plutone
Etwas westlich vom Flughafen San Pedro befindet sich ein kleines Plutonit-Vorkommen (7 km^2), südwestlich davon ein weiteres, grösseres.

III-27: Cariamanga-Macará-Plutone (Proben 74 - 76)
Die südlichsten Plutonit-Körper Ecuadors sind in der geologischen Übersichtskarte sehr schematisch bzw. weitgehend falsch dargestellt. Nach den genaueren Angaben auf den Blättern CARIAMANGA (No. 39) und MACARÁ (No. 40) handelt es sich um einen riesigen, sehr unregelmäßig ausbeissenden Batholithen, der sich im S über den Río Calvas nach N-Perú fortsetzt (s. dazu Abb. 2). Der Pluton besteht aus Granodiorit bis Tonalit bzw. etwas Norit bei Macarà (Probe 76).

Abb. 2: Ausdehnung und Zusammensetzung der Cariamanga-Macará-Plutone nach den geologischen Blättern Zapotillo (No. 23), Cariamanga (No. 39) und Macará (No. 40).

2.1.5. Gruppe IV: Küstengebiet

Im Küstengebiet gibt es nur wenige kleine, annähernd kreisrunde Intrusions-Körper. Von Norden nach Süden sind es:

IV-1: Gomez-Pluton (Proben 77, 78)

In der geologischen Übersichtskarte von Ecuador (1969) sind drei kleine Granit-Körper eingezeichnet, von denen jedoch nur ein einziger existiert. Nur ein, etwa 25 km² großes Vorkommen ist auf Blatt JIPIJAPA (No. 3) 1: 100 000 angegeben, jedoch fälschlich als Dolerit bezeichnet. In Wirklichkeit handelt es sich nach den vorliegenden Proben um Tonalit bis Quarz-Diorit.

IV-2: Pascuales-Plutone (Proben 79, 80)

Etwa 15 km nördlich Guayaquil liegen beiderseits des Río Daule drei kleine Plutonit-Körper, die in den BIC intrudiert sind. Sie bestehen aus Tonalit.

2.2. Qualitative und quantitative Petrographie

Die in den Plutoniten auftretenden Minerale und die angewandten Bestimmungsmethoden sind in Tab. 2 aufgeführt.

Tab. 2 : Der qualitative Mineralbestand der untersuchten ecuadorischen Plutonite.

H = Hauptgemengteile N = Nebengemengteile A = Akzessorien S = Sekundärmineralien	makroskopisch	mikroskopisch	Mikrosonde	Röntgeno-graphie	Auftreten
Quarz	X	X	X	X	H
Alkalifeldspat	X				
Orthoklas		X	X	X	H
Mikroklin		X		X	H
Albit		X	X	X	H
Plagioklas	X	X	X	X	H
Biotit-Reihe	X	X		X	
Lepidomelan			X		N
Meroxen			X		N
Lepidolith		X			N
Muskowit	X	X			S
Sericit		X			S
Chlorit-Gruppe		X			
Diabantit			X	X	S
Pyknochlorit			X	X	S
Amphibole	X				
Hornblende	X	X	X	X	N
Aktinolith		X	X		N+S
Tremolit		X	X	X	N+S

Tab. 2 :Fortsetzung

	makroskopisch	mikroskopisch	Mikrosonde	Röntgeno-graphie	Auftreten
Pyroxene					
Bronzit		X			N
Hypersthen		X		X	N
Diopsid		X			N
Augit		X			N
Epidot-Gruppe					
Pistazit		X			S
Orthit		X		X	A
Granat-Gruppe	X				
Spessartin		X			A
Almandin		X			A
Turmalin-Gruppe					
Schörl	X	X			N
Serpentin-Gruppe					
Chrysotil		X			S
Karbonate					
Calcit		X			S
Kaolin-Gruppe					
Kaolinit		X			S
Spinell-Gruppe					
Herzynit		X			A
Magnetit		X	X		A
Opake Minerale					
Ilmenit		X			A
Leukoxen		X			S
Hämatit		X			A
Pyrit	X	X			A+S
Titanit		X	X	X	A
Rutil		X			A
Apatit		X			A
Zirkon		X			A

In Tab. 3 sind Modalanalysen der wichtigsten Plutonit-Typen zusammengestellt, von denen z.T. auch Mineral- und Gesteinsanalysen vorliegen. Ihre Lage im QAPF-Doppeldreieck ist aus Abb. 3 (S. 30) ersichtlich.

Tab. 3 : Modalanalysen ecuadorischer Plutonite.

Nr.	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8
Quarz	35.2	33.8	23.7	39.4	34.6	21.2	24.7	38.2
Kalifeldspat	24.7	23.3	73.8	57.0	61.6	30.2	40.0	60.0
Plagioklas	37.0	41.3	-	-	-	39.7	29.1	-
Biotit	1.2	0.2	-	3.2	3.0	5.2	4.4	0.3
Chlorit	1.0	0.9	-	-	-	0.2	0.4	-
Lepidolith	-	-	2.2	-	-	-	-	-
Hornblende	-	-	-	-	-	2.5	1.1	1.1
Magnetit	0.4	0.4	0.2	0.4	0.3	0.6	0.4	0.2
Ilmenit	0.2	-	0.1	-	-	0.2	-	-
Hämatit	-	0.2	-	-	-	-	-	-
Apatit	-	-	-	-	0.1	0.1	-	-
Zirkon	0.1	-	-	-	-	-	-	-
Epidot	0.1	-	-	-	0.3	-	-	0.2
Summe	99.9	100.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.1	100.0
Farbzahl	3.1	1.6	2.5	3.6	3.7	8.8	6.2	1.8

Tab. 3: Fortsetzung

Nr.	I-11	I-12	I-13	I-17	I-19	I-21	II-23
Quarz	39.6	40.8	25.9	10.2	21.7	0.5	34.7
Kalifeldspat	30.1	56.0	70.3	0.3	11.2	0.2	-
Plagioklas	29.1	-	-	50.2	48.0	39.9	43.5
Biotit	0.3	1.4	2.1	0.3	8.3	-	13.6
Chlorit	-	-	-	0.3	0.7	0.2	0.1
Hornblende	0.2	0.5	1.5	38.2	9.2	46.5	4.7
Orthopyroxen	-	-	-	-	-	3.7	-
Klinopyroxen	-	-	-	-	-	2.2	-
Magnetit	0.1	0.3	0.2	0.3	0.6	5.1	0.6
Ilmenit	-	-	-	-	0.1	1.5	-
Herzynit	-	-	-	-	-	0.1	-
Apatit	-	-	-	-	0.1	-	0.4
Zirkon	-	-	-	-	-	-	0.1
Titanit	-	-	-	0.1	-	0.1	0.4
Epidot	0.7	0.9	-	0.2	-	-	1.9
Summe	100.1	100.0	100.0	100.1	99.9	100.0	100.0
Farbzahl	1.3	3.1	3.8	39.3	19.0	59.4	21.8

Tab. 3: Fortsetzung

Nr.	II-24	II-25	II-28	II-29	II-32	II-33	II-37
Quarz	42.0	9.6	24.5	27.2	19.5	19.0	24.0
Kalifeldspat	0.2	0.4	-	1.0	27.9	14.4	8.1
Plagioklas	28.5	34.6	52.6	54.4	38.5	48.6	45.4
Biotit	21.4	8.9	7.2	10.3	5.1	9.6	15.8
Chlorit	-	0.7	-	0.4	-	0.4	-
Hornblende	4.1	42.4	15.3	6.0	6.9[1)]	7.4[1)]	5.6[2)]
Orthopyroxen	-	-	-	-	-	-	0.2
Klinopyroxen	-	-	-	-	-	-	0.3
Magnetit	0.2	0.1	0.4	0.6	1.6	0.6	0.6
Ilmenit	-	0.4	-	-	0.1	-	-
Hämatit	0.1	-	-	-	-	-	-
Apatit	0.2	-	0.1	0.1	0.1	-	-
Zirkon	0.2	-	-	-	0.1	-	0.1
Titanit	0.6	3.0	-	0.1	-	-	-
Epidot	2.5	-	-	-	-	-	-
Calcit	-	-	-	-	0.1	-	-
Summe	100.0	100.1	100.1	100.1	99.9	100.0	100.1
Farbzahl	29.2	55.5	22.8	17.3	14.0	18.1	22.6

[1)] Hornblende + Aktinolith

[2)] Tremolit

Tab. 3: Fortsetzung

Nr.	II-38	II-40	II-44	II-48	II-49	III-61	III-70
Quarz	24.9	24.5	18.4	29.7	31.8	6.3	33.9
Kalifeldspat	8.0	12.1	4.0	6.5	9.3	0.5	-
Plagioklas	43.0	52.6	59.1	52.5	49.6	59.4	52.9
Biotit	14.9	7.3	9.8	10.0	7.3	0.5	3.7
Chlorit	0.3	-	1.3	0.1	-	1.5	1.7
Hornblende	7.5[2)]	3.3	5.6	0.2	1.8	29.5	5.6
Magnetit	0.8	0.6	0.7	0.7	0.2	0.9	1.6
Ilmenit	-	0.1	1.0	-	-	1.2	0.3
Apatit	-	-	0.1	0.1	-	-	0.2
Zirkon	0.1	0.1	-	0.1	-	-	-
Titanit	0.1	-	-	-	-	0.2	0.2
Granat	0.4	-	-	-	-	-	-
Calcit	-	-	-	0.1	-	-	-
Summe	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.1
Farbzahl	24.1	11.4	18.5	11.3	9.3	33.8	13.2

2) Tremolit

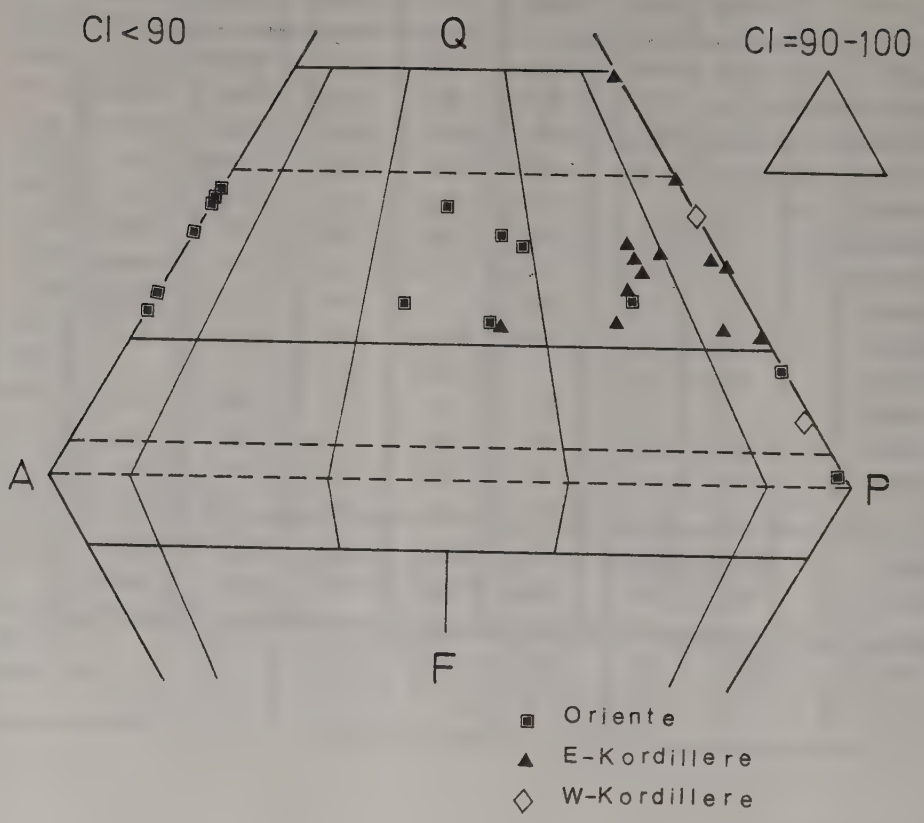


Abb. 3: Die Lage der Plutonite nach dem modalen Mineralbestand im QAPF-Doppeldreieck.

2.3. Petrographische Beschreibung der Proben

2.3.1. Gruppe I: Oriente

2.3.1.1. Tena-Baeza-Pluton (Proben 1 - 14)

Probe: 1 (10/4/4) - Leuco Monzogranit

Fundort: Oriente. Grosse Anschnitte längs der neuen Strasse Baeza -- Tena, 10 km südlich der Cosanga-Brücke; Höhe 2160 m.

Makroskopisch: helles, mittel- bis grobkörniges, hypidiomorphes Gestein.

U. d. M.: Quarz: 1,4 mm grosse xenomorphe Kristalle mit häufigen Biotit-Einschlüssen. Kalifeldspat: 1,7 mm lange hypidiomorphe Perthite mit Quarz-, Zirkon- und Biotit-Einschlüssen. Albit kommt ebenfalls vor. Plagioklas (An_{19-32}): 5,3 mm lange, polysynthetisch verzwillingte Oligoklas-Kristalle mit idiomorphen Quarz-Einschlüssen, häufig zoniert (Kern An_{27}, Rand An_{21}), Sericitisierung sehr selten. Biotit: 0,2 mm grosse idiomorphe braune Kristalle, die zur Hälfte chloritisiert sind, oft mit opaken Einschlüssen.

Modus: s. Tab. 3, No. 1.

Probe: 2 (10/4/6) - Leuco Monzogranit

Fundort: Oriente. An der neuen Strasse Baeza -- Tena, 33 km südlich der Cosanga-Brücke, knapp 21 km vor Tena; Höhe 1090 m.

Makroskopisch: wie Probe 1, jedoch grobkörniger.

U. d. M.: Quarz: 0,6 - 4,2 mm grosse xenomorphe Kristalle, häufig opt. zweiachsig. Kalifeldspat: 4,4 - 6,2 mm lange Perthite, verzwillingt nach dem Karlsbader-Gesetz, mit Einschlüssen von Biotit (Abb. 4), Quarz, Plagioklas und Lepidolith. Plagioklas (An_{12}): 0,5 - 3 mm lange Kristalle (Oligoklas), z.T. mit Reaktionssäumen und Biotit-Einschlüssen. Biotit: $\sim$ 2 mm grosse, chloritisierte, stengelige braune Kristalle. Akzessorisch Zirkon, Magnetit, Hämatit und Titanit.

Modus: s. Tab. 3, No. 2.

Probe: 3 (9/8/1) - Alkaligranit

Fundort: Oriente. Strasse Baños -- Mera, 3,3 km westlich des Ortes Mera; Höhe 1135 m.

Makroskopisch: fein- bis mittelkörniges rotes Gestein (die Farbe durch den Kalifeldspat bedingt).

U. d. M.: Quarz: lediglich ein 0,8 mm x 0,6 mm grosser idiomorpher Kristall beobachtet (Abb. 5), sonst xenomorph als Zwickelfüllung. Orthoklas mit myrmekitischem Gefüge (Abb. 5). Plagioklas: nur als polysynthetisch verzwillingter Albit (An_{0-2}). Als femische Anteile neben akzessorischem Magnetit und Ilmenit nur Lepidolith.

Modus: s. Tab. 3, No. 3.

Probe: 4 (9/8/3) - Alkaligranit

Fundort: Oriente. Strasse Baños -- Mera, 7 km westlich von Mera; Höhe 1160 m.

Makroskopisch: rötlichweisses, grobkörniges, hypidiomorphes Gestein.

U. d. M.: Quarz: durchschnittlich 1,1 mm bis maximal 3,9 mm grosse xenomorphe Kristalle, die oft Albit einschliessen. Kalifeldspat: 3,8 - 7,3 mm lange Perthite, sehr häufig mit Biotit- und Magnetit-Einschlüssen. Plagioklas: nur als polysynthetisch verzwillingter, 2,5 bis maximal 3,1 mm langer Albit, der schwach sericitisiert ist. Biotit: blätterige, bis 1,2 mm grosse braune, schwach chloritisierte Kristalle, die manchmal Apatit-Nadeln enthalten. Als opaker Anteil kommt nur der 62µm - 0,5 mm grosse Magnetit vor.

Modus: s. Tab. 3, No. 4.

Probe: 5 (17/2/1) - Alkaligranit

Fundort: Oriente. Strasse Baños -- Mera, 400 m östlich der Einmündung des Río Topo in den Pastaza; Höhe 1240 m.

Makroskopisch: wie Probe 4.

U. d. M.: Quarz: xenomorphe Kristalle mit Albit-, Kalifeldspat- und Magnetit-Einschlüssen. Kalifeldspat: 3,8 mm lange, nach dem Karlsbader-Gesetz verzwillingte Perthite, mit Biotit-, Apatit- und Magnetit-Einschlüssen. Plagioklas: $\sim$ 3 mm lange, nach dem Karlsbader- und dem Albit-Gesetz verzwillingte Albit-Kristalle. Biotit: 0,5 - 0,7 mm grosse braune tafelige, schwach chloritisierte Kristalle. Hornblende: 0,5 mm langer idiomorpher grüner Einzelkristall. Orthit: 0,5 mm langer idiomorpher brauner Einzelkristall. Akzessorisch Almandin, Apatit und Magnetit.

Modus: s. Tab. 3, No. 5.

Probe: 6 (17/2/2) - Monzogranit

Fundort: Oriente. Strasse Baños -- Mera, 300 m östlich der Einmündung des Río Topo in den Pastaza (westliche Seite der Zunac-Brücke); Höhe 1250 m.

Makroskopisch: mittel- bis grobkörniger, rötlich-grauweisser Plutonit.

U. d. M.: Quarz: 0,2 bis 1,2 mm grosse xenomorphe myrmekitisch verwachsene Kristalle, selten mit Plagioklas-Einschlüssen. Kalifeldspat: 0,4 bis 6,3 mm lange, nach dem Karlsbader-Gesetz verzwillingte, tafelige Perthite, mit Einschlüssen von Plagioklas, Hornblende, Biotit, Apatit und Erz. Plagioklas (An_{25-30}): 3 mm x 1,2 mm grosse tafelige Kristalle, die manchmal, vom Kern ausgehend, sericitisiert sind (Abb. 6), gelegentlich mit Einschlüssen von Hornblende, Magnetit und Hämatit (66 µm), selten ist ein ausgeprägter Zonarbau mit bis zu 7 Zonen. Biotit: 1,7 mm grosse, nach (100) blätterige braune Kristalle, sehr schwach chloritisierte und häufig mit Magnetit als Einschlüssen. Hornblende: 1,6 mm lange, idiomorphe grüne Zwillingskristalle mit Magnetit-Einschlüssen. Akzessorisch Ilmenit, Magnetit, Hämatit und Apatit.

Modus: s. Tab. 3, No. 6.

Probe: 7 (15/9/1a) - Monzogranit

Fundort: Oriente. Strasse Baños -- Mera, 500 m östlich der Einmündung des Río Topo in den Pastaza; Höhe 1240 m.

Makroskopisch: rötlichweisses, grobkörniges Gestein mit Kalifeldspat (rot), Plagioklas (weiss), Quarz (grau) und pseudo-hexagonalem, 3 mm grossem Biotit.

U. d. M.: Quarz: bis zu 3,1 mm grosse hypidiomorphe Kristalle, z.T. als Einschlüsse in Kalifeldspat und Plagioklas. Kalifeldspat: bis 9,8 mm lange, nach dem Karlsbader-Gesetz verzwillingte Perthite, mit Einschlüssen von bis zu 1,9 mm langer idiomorpher Hornblende (Abb. 7), Biotit, Quarz und Magnetit. Der Kalifeldspat verdrängt gelegentlich den Quarz. Plagioklas: 2,6 mm lange tafelige, zonierte, verzwillingte und kaolinisierte Kristalle, gelegentlich mit Reaktionssäumen. Biotit: 1,9 mm grosse braune, chloritisierte Kristalle, die Plagioklas umschließen. Hornblende: durchschnittlich 1,1 mm lange, idiomorphe, grüne und verzwillingte Kristalle. Akzessorisch Apatit und Magnetit.

Modus: s. Tab. 3, No. 7.

Probe: 8 (17/2/3) - Alkaligranit

Fundort: Oriente. Baños -- Mera, Geröll aus dem Río Topo.

Makroskopisch: weisses, mittelkörniges, hypidiomorphes Gestein.

U. d. M.: Quarz: durchschnittlich 2,7 mm grosse xenomorphe Kristalle mit undulöser Auslöschung. Kalifeldspat: als Perthit (Abb. 8) mit einer durchschnittlichen Länge von 1,3 mm sowie als Mikroklin in 0,5 - 4,4 mm langen, verzwillingten Kristallen mit Biotit-Einschlüssen. Albit: 0,3 - 1,8 mm lange verzwillingte und sericitisierte Kristalle. Grüne, schwach pleochroitische Hornblende, die mit braunem Biotit zusammen vorkommt. Akzessorisch Epidot, Magnetit, Titanit, Zirkon und Granat.

Modus: s. Tab. 3, No. 8.

Probe: 9 (8/9/11) - Alkaligranit

Fundort: Oriente. Baños -- Mera, Geröll aus dem Río Topo.

Makroskopisch und mikroskopisch sehr ähnlich der Probe 8.

Probe: 10 (17/2/4) - Meta-Quarzdiorit

Fundort: Oriente. Baños -- Mera, Geröll aus dem Río Topo.

Makroskopisch: grünliches, leicht schieferiges, mittelkörniges Gestein mit fleckenartigem, weissen Plagioklas.

U. d. M.: Das Gestein ist schwach metamorphosiert und fällt aufgrund seiner Saussuritisierung, Chloritisierung und Uralitisierung in den Bereich der Grünschieferfazies (Abb. 9). Der xenomorphe Quarz zeigt undulöse Auslöschung. Plagioklas (An_{38}): nach dem Albit-Gesetz verzwillingt, stark saussuritisiert, schwach chloritisiert, mit Erz-Einschlüssen. Biotit: grünlichbraun, maximal 2,8 mm lang, mit Magnetit-Einschlüssen. Als Amphibol tritt Aktinolith auf. Titanit, Hämatit und Magnetit sind selten. Sekundärmineralien: Pistazit und Chlorit, letzterer in Form 1,8mm langer, blassgrüner, schwach pleochroitischer Kristalle mit anomal braunen Interferenzfarben.

Probe: 11 (17/2/7) - Leuco Monzogranit

Fundort: Oriente. Baños -- Mera. 6,3 km westlich der Ortschaft (= Pueblo) Río Negro, und zwar 0,75 km westlich der Quebrada San Francisco; Höhe etwa 1500 m.

Makroskopisch: weisses, grobkörniges Gestein.

U. d. M.: Quarz kommt in zwei Generationen mit einer Grösse von 74 µm bzw. 3,4 mm als xenomorphe Zwickelfüllung mit undulöser Auslöschung vor. Kalifeldspat: 9,7 mm lange Perthite, die Karlsbader Verzwillingung aufweisen und Plagioklas einschliessen. Plagioklas (An_{8-10}): 0,5 mm lange, tafelige, verzwillingte Kristalle, z.T. sericitisiert. Biotit: braune, 0,3 mm grosse Kristalle mit starkem Pleochroismus. Hornblende: 0,2 mm lange, grüne Kristalle. Akzessorisch treten Magnetit und als Sekundärmineral körniger Epidot auf.

Modus: s. Tab. 3, No. 11.

Probe: 12 (16/9/1) - Alkaligranit

Fundort: Oriente. Baños -- Mera. Quebrada San Francisco, etwa 6 km westlich von Pueblo Río Negro; Höhe etwa 1500 m.

Makroskopisch: helles, grobkörniges Gestein.

U. d. M.: Quarz: in zwei xenomorphe Generationen, beide mit undulöser Auslöschung. Orthoklas: 1,4 mm lange, nach dem Karlsbader-Gesetz verzwillingte Perthite. Mikroklin: bis zu 0,5 cm lange Kristalle mit typischer Vergitterung, die Quarz einschliessen (Abb. 10). Albit: 0,5 bis 1,7 mm lange tafelige Kristalle, nach dem Albit-Gesetz verzwillingt. Grüne Hornblende in Biotit umgewandelt, Hämatit, Magnetit, Apatit, Zirkon, Granat und Epidot in geringen Mengen.

Modus: s. Tab. 3, No. 12.

Probe: 13 (16/9/4) - Alkaligranit

Fundort: Oriente. Baños -- Mera. Quebrada San Francisco, etwa 6 km westlich von Pueblo Río Negro bzw. 2,2 km östlich des Río Machay.

Makroskopisch: helles, grobkörniges, hypidiomorphes Gestein.

U. d. M.: Quarz: 25 µm - 4,7 mm lange xenomorphe Kristalle mit undulöser Auslöschung. Kalifeldspat: 1,6 mm lange Perthite und durchschnittlich 1,9 mm - 3,8 mm lange Mikroklin-Kristalle. Plagioklas: nur als Albit (An_{0-2}) in 3,4 mm langen und nach dem Karlsbader- und Albit-Gesetz verzwillingten Phänokristallen, die saussuritisiert und zerschert sind. Grüne Hornblende: z.T. in 0,4 mm lange braune Biotit-Kristalle umgewandelt. Akzessorisch Granat und Magnetit.

Modus: s. Tab. 3, No. 13.

Probe: 14 (27/9/3) - Aplit

Fundort: Oriente. Baños -- Mera. Nahe dem Río Verde Chico; Höhe 1570 m.

Makroskopisch: leukokrates, allotriomorphes, granulares aplitisches Ganggestein. Nach WILLIAMS et al. (1953) sollte die Korngrösse bei Aplit 2 mm nicht übersteigen, wie das auch bei dieser Probe der Fall ist.

U. d. M.: Quarz: maximal 1,3 mm. Kalifeldspat: tritt als Perthit auf und ist nach dem Karlsbader-Gesetz verzwillingt. Plagioklas: maximal 0,4 mm lange, gelegentlich nach dem Albit-Gesetz verzwillingte, opt. positive Kristalle. Muskowit: maximal 0,4 mm lang. Körniger Chlorit (58 µm), der anomal braune Interferenzfarben aufweist. Alanit: farblos, verzwillingt, mit blauen Interferenzfarben, hoher Lichtbrechung und negativer Hauptzone; er kommt als Einschluß in Muskowit und Plagioklas vor sowie als Einsprengling mit einer maximalen Länge von 0,9 mm. Akzessorisch roter Rutil.

2.3.1.2. Zamora-Pluton (Proben 15 - 21)

Probe: 15 (23/8/2) - Tonalit

Fundort: Oriente. Profil Zamora -- Zumbi. Loser Block, 2 km nordöstlich Zamora, bei der Hazienda Milagro.

Makroskopisch: weisses, mittel- bis grobkörniges hypidiomorphes Gestein.

U. d. M.: Quarz: 82 µm bis 1,9 mm kleine xenomorphe Kristalle, undulös auslöschend und idiomorphen, 91 µm grossen Zirkon einschliessend. Kalifeldspat: maximal 2,5 mm lange Perthite. Plagioklas (An_{20}): 3,4 mm lange, z.T. stark zonierte und intensiv sericitisierte Kristalle (Abb. 11), die Biotit und Hornblende einschliessen. Biotit: 0,9 mm grosse chloritisierte Kristalle. Selten Lepidolith: nahezu einachsig, umschliesst teilweise Magnetit. Selten Hornblende. Magnetit: z.T. idiomorphe Würfel, z.T. korrodierte Kristalle.

Probe: 16 (23/8/2b) - Tonalit

Fundort: Oriente. Profil Zamora -- Zumbi. 2 km nordöstlich von Zamora, bei der Hazienda Milagro.

Makroskopisch: hellgraugrünes, grobkörniges, hypidiomorphes Gestein.

U. d. M.: Quarz: xenomorph bis zu 1,7 mm Durchmesser, undulös auslöschend. Plagioklas (An_{22-35}): Oligoklas, Andesin, maximal 5,8 mm lang und durchschnittlich 2,5 mm x 1,3 mm im Durchmesser, verzwillingt, häufig zoniert, sericitisiert und Quarz und Biotit einschliessend. Hornblende: 1,6 mm lang, idiomorph bis hypidiomorph (Abb. 12), siebartig Quarz einschliessend. Biotit: maximal 1,9 mm, chloritisiert, mit Einschlüssen von Quarz und Magnetit. Sekundärminerale: Sericit, Muskowit und Epidot.

Probe: 17 (23/8/4c) - Quarz-Gabbro

Fundort: Oriente. Profil Zamora -- Zumbi. Quebrada 4 km östlich der Hazienda Milagro bzw. 6 km nordöstlich von Zamora; Höhe 900 m.

Makroskopisch: grünliches, mittelkörniges und hypidiomorphes Gestein.

U. d. M.: Quarz: als xenomorphe Zwickelfüllung. Kalifeldspat: als Orthoklas mit Karlsbader Verzwillingung. Plagioklas: Labradorit (An_{60}) und Andesin (An_{35}), nach dem Albit- und Periklin-Gesetz verzwillingt, manchmal tritt Zonarbau ohne Verzwillingung auf. Der Plagioklas ist sericitisiert ("gefüllter" Plagioklas) und enthält Hornblende (Abb. 13). Grüne, verzwillingte Hornblende mit Siebstruktur umschließt Quarz, Plagioklas, braunen Biotit, Chlorit, Apatit (58 µm), Rutil, Titanit, Magnetit und Epidot in pseudoophitischem Gefüge. Grasgrüner, pleochroitischer Chlorit zeigt anomal blaue Interferenzfarben.

Modus: s. Tab. 3, No. 17.

Probe: 18 (23/8/5a) - Granodiorit

Fundort: Oriente. Profil Zamora -- Zumbi. 5 km östlich der Hazienda Milagro bzw. 7 km nordöstlich von Zamora; Höhe 930 m.

Makroskopisch: roter, grobkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Das Gestein ist metamorphosiert und erreicht die Chlorit-Sericit-Subfazies der Grünschiefer-Fazies. Quarz: grosse xenomorphe Kristalle mit Böhm'scher Streifung. Kalifeldspat: grosse hypidiomorphe Kristalle, gelegentlich nach dem Karlsbader-Gesetz verzwillingt, mit Einschlüssen von Quarz, Plagioklas, idiomorphem Chlorit und Titanit. Plagioklas (An_{35}): stark saussuritisiert und sericitisiert. Biotit: grün, völlig chloritisiert. Grünlich pleochroitischer Orthochlorit zeigt anomal blaue Interferenzfarben und enthält immer Magnetit-Einschlüsse.

Probe: 19 (23/8/6a) - Granodiorit

Fundort: Oriente. Profil Zamora -- Zumbi. 7 km östlich der Hazienda Milagro bzw. 9 km nordöstlich von Zamora; Höhe 890 m.

Makroskopisch: wie Probe 16.

U. d. M.: Quarz: durchschnittlich 1,6 mm grosse, xenomorphe bis hypidiomorphe Kristalle, undulös auslöschend, mit Böhm'scher Streifung sowie Magnetit- und Apatit-Einschlüssen. Kalifeldspat: als 7,2 x 5,6 mm grosser Orthoklas, der stets Plagioklas (Abb. 14), selten Biotit, Magnetit und Apatit einschliesst. Plagioklas (An_{46}): durchschnittlich 2,8 mm lange, verzwillingte, zonierte, stark sericitisierte und saussuritisierte Kristalle, die Apatit einschliessen. Grüne Hornblende: 5,2 mm lang, hypidiomorph, verzwillingt, mit Einschlüssen von Quarz, Plagioklas, Biotit, Chlorit und Magnetit in poikilitischem Gefüge (Abb. 15). Biotit: grünlichbraun bis braun und chloritisiert, mit Magnetit-Einschlüssen. Akzessorisch Apatit und Magnetit (1,4 mm). Sekundärmineralien: Epidot, Muskowit und Sericit.

Modus: s. Tab. 3, No. 19.

Probe: 20 (23/8/7a) - Tonalit

Fundort: Oriente. Profil Zamora -- Zumbi. 10 km östlich der Hazienda Milagro bzw. 12 km nordöstlich von Zamora; Höhe 900 m.

Makroskopisch: weissgraues, grobkörniges und hypidiomorphes Gestein.

U. d. M.: Quarz: 1,3 cm lange xenomorphe Kristalle, mit undulöser Auslöschung und Böhm'scher Streifung. Kalifeldspat: sehr selten, mit Einschlüssen von Biotit und Magnetit. Plagioklas: die 4,7 mm langen, hypidiomorphen Kristalle sind nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader-Gesetz verzwillingt, sie zeigen Zonarbau, Kaolinitisierung und Sericitisierung. Hornblende: grün, hypidiomorph, verzwillingt, mit Einschlüssen von Biotit und Magnetit. Brauner Biotit: entweder frisch oder völlig in Chlorit umgewandelt. Der grüne, stark pleochroitische Chlorit zeigt anomal blaue Interferenzfarben.

Probe: 21 (23/8/7b) Mela Norit

Fundort: Oriente. Profil Zamora -- Zumbi. 10 km östlich der Hazienda Milagro bzw. 12 km nordöstlich von Zamora; Höhe 900 m.

Makroskopisch: dunkler, mittelkörniger und hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Plagioklas (Labradorit): nach dem Albit- und Bavenoer-Gesetz verzwillingt, oft als Einschluß in Hornblende mit pseudoophitischem Gefüge. Der Plagioklas führt gelegentlich Hornblende-Einschlüsse und ist entlang der Spaltrisse sericitisiert. Selten Quarz und Orthoklas. Prismatischer Hypersthen und farbloser Diopsid treten im Kern der Hornblende auf, d.h. die Pyroxene sind zu Hornblende umgewandelt (Uralitisierung). Die grüne Hornblende ist verzwillingt und schliesst grosse Plagioklas-Kristalle ein (Abb. 16); sie setzt etwa 50 % des Gesteins zusammen und ist nach den Pyroxenen entstanden. Akzessorisch Magnetit, Ilmenit und Titanit.

Modus: s. Tab. 3, No. 21.

2.3.2. Gruppe II: Ost-Kordillere

2.3.2.1. Santa Barbara-Pluton (Proben 22 - 27)

Probe: 22 (5/10/6a) - Tonalit

Fundort: E-Kordillere. Flussgeröll aus dem Río Santa Barbara, 11 km östlich El Carmelo, Strasse El Carmelo -- La Bonite; Höhe 2550 m.

Makroskopisch: grünlichweisser, allotriomorpher, grobkörniger Plutonit.

U. d. M.: Quarz mit undulöser Auslöschung. Plagioklas (An_{27-31}): verzwillingt nach dem Albit-, oder Albit- und Periklin-, oder Albit- und Karlsbader-Gesetz, gelegentlich unverzwillingt; er zerfällt zu Pistazit und schließt alle anderen Gemengteile ein. Bis 6,9 mm lange, braune Biotit-Kristalle, mit Quarz-, Ilmenit- und Titanit-Einschlüssen, z.T. randlich zu grünem, pleochroitischem Chlorit mit anomal brauner Interferenzfarbe umgewandelt. Grüne, verzwillingte Hornblende mit Quarz-Einschlüssen. Selten Hypersthen. Akzessorien: Ilmenit, Titanit (0,1 mm), Apatit und Zirkon.

Probe: 23 (5/10/6b) - Tonalit

Fundort: wie Probe 22.

Makroskopisch: grünlichweisser, hypidiomorpher, mittelkörniger Plutonit.

U. d. M.: Quarz mit undulöser Auslöschung. Plagioklas (An_{23-35}): manchmal verzwillingt, zoniert und saussuritisiert. Grosse, braune Biotit-Kristalle, schwach chloritisiert, schliessen Apatit (0,4 mm), Zirkon (82 µm), Titanit (0,3 mm), Magnetit, Quarz und Plagioklas ein (Abb. 17). Selten grüne Hornblende (1 mm).

Modus: s. Tab. 3, No. 23.

Probe: 24 (5/10/8) - Tonalit

Fundort: wie Probe 22.

Makroskopisch: grünlichweisses, mittelkörniges, hypidiomorphes Gestein.

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung und hypidiomorph mit normaler Auslöschung. Sehr selten Orthoklas mit Karlsbader-Verzwillingung. Plagioklas (An_{43}): mit Albit-, Karlsbader- und Periklin-Verzwillingung, selten zoniert und saussuritisiert. Brauner Biotit mit Tianit-, Erz-, Apatit- und Quarz-Einschlüssen. 1,9 mm lange grüne, z.T. verzwillingte Hornblende, die Quarz- und Orthochlorit-Einschlüsse enthält. Akzessorien: idiomorpher Titanit, Hämatit, Ilmenit, Magnetit, Apatit und Zirkon.

Modus: s. Tab. 3, No. 24.

Probe: 25 (5/10/16) - Mela-Tonalit

Fundort: wie Probe 22.

Makroskopisch: ähnlich den Proben 22, 23 und 24, jedoch dunkler (grünlicher). Phänokristalle von Quarz, Plagioklas, Hornblende, Biotit und Pyrit.

U. d. M.: Quarz: selten und als Einschlüsse in Hornblende ("Siebstruktur"). Selten Orthoklas (0,8 mm) mit Karlsbader-Verzwillingung. Plagioklas (An_{47}): xenomorph bis hypidiomorph, manchmal verzwillingt und selten zoniert. Brauner Biotit häufig als Querbiotit in Hornblende (Abb. 18) und in Plagioklas. Grüne xenomorphe, bis 3 mm lange Hornblende, selten verzwillingt; aufgrund von Pyrit- und Ilmenit-Einschlüssen dunkler erscheinend (Abb. 18), z.T. in Biotit umgewandelt und chloritisiert. Akzessorien: Pyrit, Magnetit und Ilmenit, der von Titanit umwachsen ist (Abb. 18).

Modus: s. Tab. 3, No. 25.

Probe: 26 (5/10/7) - Meta-Tonalit

Fundort: wie Probe 22.

Makroskopisch: grauer, mittelkörniger, allotriomorpher Meta-Tonalit mit Einschlüssen basischer Gesteine.

U. d. M.: xenomorpher Quarz. Plagioklas: in zwei Generationen vorkommend. Brauner Biotit: ebenfalls in zwei Generationen, opacitisiert. Grüne Hornblende: verzwillingt. Akzessorisch Magnetit, Ilmenit, Hämatit, Titanit und Apatit.

Probe: 27 (5/10/9) - Migmatit

Fundort: wie Probe 22.

Makroskopisch: Migmatit mit hellem und grobkörnigem tonalitähnlichem Neosom und einem wesentlich geringeren Anteil an dunklem und feinkörnigem Paläosom.

U. d. M.: Neosom: Quarz, Plagioklas, brauner Biotit, grüne Hornblende. Akzessorisch Ilmenit und Titanit. Paläosom: dieselben Gemengteile wie das Neosom.

2.3.2.2. Chuga-Pluton (Proben 28 - 31)

Probe: 28 (6/10/14) - Tonalit

Fundort: W-Rand der E-Kordillere. Pinampiro -- Chuga, 4,5 km südöstlich von Pinampiro; Höhe 1960 m.

Makroskopisch: hellgrauer, hypidiomorpher, grobkörniger Plutonit mit basischen Gesteinseinschlüssen.

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung. Plagioklas (An_{43-54}): verzwillingt, zoniert und im Kern schwach kaolinitisiert. Grüne, 5 mm lange, prismatische Hornblende-Kristalle mit Einschlüssen. Brauner Biotit: z.T. chloritisiert. Akzessorisch Magnetit (max. 1,8 mm) und Apatit.

Modus: s. Tab. 3, No. 28.

Probe: 29 (6/10/17) - Tonalit

Fundort: W-Rand der E-Kordillere. Pinampiro -- Chuga, 4,5 km östlich von Pinampiro; Höhe 1960 m.

Makroskopisch: ähnlich Probe 28, jedoch heller (Farbzahl s. Tab. 3 und 7).

U. d. M.: mittelkörniger, xenomorpher Quarz mit undulöser Auslöschung. Selten Orthoklas: maximal 2,3 mm lang. Plagioklas (An_{30-36}): idiomorph bis hypidiomorph, verzwillingt, stark zoniert und kaolinitisiert. Die grüne, idiomorphe, bis 3 mm lange Hornblende ist verzwillingt. Bis 4,3 mm grosser, xenomorpher, brauner Biotit mit linsenförmigen Sericit-Einschlüssen. Akzessorisch Magnetit, Titanit und Apatit.

Modus: s. Tab. 3, No. 29.

Probe: 30 (6/10/21) - Tonalit

Fundort: W-Rand der E-Kordillere. Pinampiro -- Chuga, 12 km östlich von Pinampiro, im Río Guaranga; Höhe 2030 m.

Makroskopisch: heller, grobkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: mittelkörniger, xenomorpher Quarz mit undulöser Auslöschung. Plagioklas (An_{26}): 4,3 mm lange Kristalle, häufig verzwillingt nach dem Albit-, Karlsbader- und Periklin-Gesetz. Brauner Biotit: durchschnittlich 2 mm, z.T. in Orthochlorit umgewandelt und opacitisiert. Dieser ist primär und sekundär vorhanden; daneben grünlicher Epidot.

Probe: 31 (2/8/18) - Tonalit

Fundort: W-Rand der E-Kordillere. Pinampiro -- Chuga, 15 km östlich von Pinampiro, im Río Guaranga; Höhe 1950 m.

Makroskopisch: nahezu identisch mit Probe 30.

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung. Plagioklas: verzwillingt, zoniert und myrmekitisch mit Quarz verwachsen. Als mafische Minerale kommen brauner Biotit und Lepidolith vor; akzessorisch Magnetit und Hämatit.

2.3.2.3. Papallacta-Pluton (Probe 32)

Probe: 32 (31/3/5c) - Monzogranit

Fundort: E-Kordillere. Papallacta -- Baeza, 3 km östlich von Papallacta; Höhe 2960 m. Block aus einem grossen Bachschuttkegel.

Makroskopisch: grauer, mittelkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: xenomorpher Quarz. Kalifeldspat: bis zu 1 mm lang, nahezu opt. einachsig, manchmal nach dem Karlsbader-Gesetz verzwillingt, stets mit Magnetit-, gelegentlich mit Quarz-Einschlüssen. Plagioklas (An_{22-30}): hypidiomorph, verwillingt und zoniert, ist das grösste vorkommende Mineral mit bis zu 4,8 mm Länge. Der Plagioklas weist viele Risse auf und führt reichlich Calcit-, Quarz-, Biotit- und Apatit-Einschlüsse. Brauner Biotit mit pleochroitischen Höfen schließt Zirkon und Apatit ein und ist opacitisiert. Gelblichgrüner Aktinolith; akzessorisch Zirkon, Apatit, Magnetit und Ilmenit.

Modus: s. Tab. 3, No. 32.

2.3.2.4. Pungala-Pluton (Proben 33 - 39)

Probe: 33 (25/3/1) - Granodiorit

Fundort: W-Rand der E-Kordillere. Elektrizitätswerk Pungala; Höhe 2780 m.

Makroskopisch: hellgrauer, grobkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: hypidiomorpher Quarz. Kalifeldspat: stets an Plagioklas grenzend. Plagioklas (An_{37}): bis zu 5,5 mm, frisch, nach dem Albit-, dem Albit- und Karlsbader- oder dem Albit- und Periklin-Gesetz verzwillingt, stets stark zoniert (Abb. 19). Brauner Biotit: chloritisiert und opacitisiert. Hornblende: braungrünlich, verwillingt, bis zu 6,6 mm gross. Augit: in den Randbereichen stark uralitisiert. Akzessorien: Magnetit, Ilmenit, Hämatit und Zirkon (in Biotit).

Modus: s. Tab. 3, No. 33.

Probe: 34 (11/8/5) - Granodiorit

Fundort: W-Rand der E-Kordillere. Elektrizitätswerk Pungala; Höhe 2780 m.

Makroskopisch: wie Probe 33.

U. d. M.: hypidiomorpher Quarz. Kalifeldspat: mit Biotiteinschlüssen. Plagioklas: 7,5 mm lange, verzwillingte, stark zonierte Kristalle, die Hornblende einschließen (Abb. 20). Grüne Hornblende, verzwillingt, wird in Biotit umgewandelt (Abb. 21). Brauner Biotit: verdrängt Hornblende, ist chloritisiert, opacitisiert und schließt Zirkon ein.

Probe: 35 (26/3/1) - Granodiorit

Fundort: W-Rand der E-Kordillere. 1,1 km südlich Licto (Richtung Cebadas); Höhe 2800 m.

Makroskopisch: roter, grobkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz. Kalifeldspat: ummantelt den Plagioklas. Plagioklas (An_{34}): bis zu 1,2 x 0,5 cm grosse, hypidiomorphe Kristalle, verzwillingt und stark zoniert. Grüne Hornblende: verzwillingt und prismatisch. Brauner Biotit: opacitisiert. Akzessorisch Magnetit.

Probe: 36 (26/3/3) - Meta-Granodiorit

Fundort: W-Rand der E-Kordillere. 3,2 km südlich von Licto (Richtung Cebadas); Höhe 2840 m. Randliche Apophyse des Pungala-Plutons.

Makroskopisch: grünliches, mittelkörniges, hypidiomorphes Gestein.

U. d. M.: Quarz: zweiachsig mit undulöser Auslöschung. Kalifeldspat in Form von Perthit. Plagioklas: verzwillingt und stark zoniert. Biotit: braun, opacitisiert und chloritisiert. Orthochlorit: bis 2,2 mm grosse Kristalle. Pistazit: gelblich, prismatisch, 1,6 mm lang. Akzessorisch Magnetit.

Probe: 37 (26/3/8) - Granodiorit

Fundort: W-Rand der E-Kordillere. 3,4 km südlich von Licto (Richtung Cebadas); Höhe 2860 m.

Makroskopisch: hellgrauer, sehr grobkörniger, hypidiomorpher Granodiorit bis Tonalit mit Einschlüssen, im Aufschluss eine 10 - 15 m breite Apophyse bildend.

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung. Kalifeldspat: als xenomorpher Perthit und mit Quarz verwachsen in graphischem Gefüge. Plagioklas: 5,3 mm lang, z.T. stark zoniert, mehr als 30 Zonen (Abb. 22), verzwillingt nach dem Albit-, seltener nach dem Albit-Periklin-Gesetz. Faseriger Tremolit ist in braunen Biotit umgewandelt; letzterer schließt Quarz, Plagioklas, Zirkon und Magnetit ein. Sehr selten Hypersthen sowie diopsidischer Pyroxen: 2 mm lange, idiomorphe, verzwillingte Kristalle.

Modus: s. Tab. 3, No. 37.

Probe: 38 (26/3/9) - Granodiorit

Fundort: W-Rand der E-Kordillere. Sehr ähnlich der Probe 37.

Makroskopisch: wie Probe 37.

U. d. M.: Quarz: mit Kalifeldspat in graphischem Gefüge verwachsen (Abb. 23). Plagioklas (An_{38-44}): verzwillingt und z.T. stark zoniert. Faseriger Tremolit, randlich in braunen Biotit umgewandelt; beide sind chloritisiert. Akzessorisch Magnetit, Titanit, Granat und Zirkon (in Tremolit).

Modus: s. Tab. 3, No. 38.

Probe: 39 (26/3/13) - Granodiorit

Fundort: W-Rand der E-Kordillere. 1,2 km südlich Cebadas; Geröll aus dem Río Chambo; Höhe 2890 m.

Makroskopisch: hellgrauer, grobkörniger, hypidiomorpher Plutonit mit basischen Gesteinseinschlüssen.

U. d. M.: Quarz: xenomorph. Kalifeldspat: 5,3 mm lange Perthite, selten nach dem Karlsbader-Gesetz verzwillingt. Plagioklas: hypidiomorph, verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader-Gesetz, stark zoniert. Prismatischer Aktinolith, selten Tremolit, randlich in braunen Biotit umgewandelt. Dieser z.T. chloritisiert. Akzessorisch Magnetit und Zirkon (in Biotit).

2.3.2.5. Alao-Pluton (Proben 40 - 43)

Probe: 40 (12/9/3) - Granodiorit

Fundort: E-Kordillere. Geröll aus dem Río Magnazo (rechter Nebenfluss des Río Alao), 3 km westlich Alao.

Makroskopisch: hellgrauer, grobkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: xenomorpher Quarz. Kalifeldspat: als Perthit, umschließt Hornblende, Biotit und Apatit. Plagioklas (An_{35-38}): idiomorph bis hypidiomorph, verzwillingt und stark zoniert (mindestens 26 Zonen), selten randlich sericitisiert und chloritisiert. Brauner Biotit: tafelige, 2,5 x 1,6 mm grosse Kristalle, die Plagioklas einschliessen (Abb. 24). Grüne Hornblende: z.T. in Biotit umgewandelt (Abb. 25). Akzessorisch Magnetit, Zirkon (in Hornblende), Apatit (in Hornblende und Kalifeldspat).

Probe: 41 (11/8/1) - Granodiorit

Fundort: wie Probe 40.

Makroskopisch: wie Probe 40.

U. d. M.: wie Probe 40, der Plagioklas jedoch mit Sericit gefüllt, der Biotit stärker chloritisiert.

Probe: 42 (25/3/4a) - Granodiorit

Fundort: E-Kordillere. Alao-Tal (südlich Riobamba), Geschiebe aus einer Moräne am Fahrweg, 3 km westlich vom Ort Alao; Höhe 3130 m.

Makroskopisch: rötlicher, grobkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung. Kalifeldspat: xenomorpher Perthit, schließt Hornblende ein. Plagioklas (An_{40}): idiomorph bis hypidiomorph, verzwillingt und stark zoniert; wenn unverzwillingt, dann undulöse Auslöschung. Biotit: braun, z.T. in Sericit und Chlorit umgewandelt. Grüne Hornblende: prismatisch und verzwillingt; wird von Biotit verdrängt. Akzessorisch Hämatit (in Biotit), Magnetit, Apatit und Zirkon (in Biotit).

Probe: 43 (25/3/4b) - Orthogneis

Fundort: wie Probe 42.

Makroskopisch: graugrüner, grobkörniger, grano- und heteroblastischer Metamorphit.

U. d. M.: Quarz: xenoblastisch mit undulöser Auslöschung, starke Kornverzahnung; kataklastisch in feinkörnige, verzahnte Quarzaggregate zerlegt. Plagioklas: meist zerbrochen, verzwillingt, im Kern stark zoniert, kaolinitisiert und z.T. mit Sericit und Epidot gefüllt. Brauner Biotit: bis zu 4,7 mm Durchmesser, porphyroblastisch. Grüne Hornblende: bis zu 4,2 mm lang, porphyroblastisch. Akzessorisch Magnetit, Ilmenit, Apatit (in Biotit). Sekundärmineral: Epidot.

2.3.2.6. Amaluza-Pluton (Probe 44)

Probe: 44 (20/8/4) - Tonalit

Fundort: E-Kordillere. Cola de San Pablo, Campamento Guarumales im Paute-Tal.

Makroskopisch: hellgrauer, mittelkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung. Alkalifeldspat: als Albit vorliegend. Plagioklas (An_{41-48}): verzwillingt, stark zoniert und sericitisiert. Brauner Biotit: randlich z.T. in Chlorit umgewandelt und entlang den Spaltrissen opacitisiert. Grüne Hornblende: prismatisch, verzwillingt, schließt Quarz, Plagioklas und Magnetit ein. Akzessorisch Magnetit, Apatit und Zirkon.

Modus: s. Tab. 3, No. 44.

2.3.2.7. San Lucas-Pluton (Proben 45 - 52)

Probe: 45 (22/8/1) - Monzogranit

Fundort: E-Kordillere. San Lucas, an der Panamericana, zwischen Saraguro und Loja, 26 km südlich von Saraguro; Höhe 2350 m.

Makroskopisch: gelblichgrauer, grobkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: bis zu 5,3 mm grosse, xenomorphe Individuen. Kalifeldspat: bis zu 8 mm lange Perthite, nach dem Karlsbader-Gesetz verzwillingt. Plagioklas: sehr starke, enge Verzwillingung nach dem Albit-Gesetz; kaolinitisiert und z.T. sericitisiert. Brauner Biotit: in Orthochlorit umgewandelt und opacitisiert. Neben Biotit kommt Lepidolith vor.

Probe: 46 (22/8/2) - Tonalit

Fundort: wie Probe 45, jedoch nicht entstehend, sondern als Block.

Makroskopisch: grauer, mittelkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung. Plagioklas: tafelig, bis zu 2,8 mm lang, verzwillingt, zoniert und saussuritisiert. Brauner Biotit: in Chlorit umgewandelt. Grüne Hornblende: korrodiert. Akzessorisch Magnetit. Sekundärminerale: Calcit als Umwandlungsprodukt des Plagioklases; Epidot am Rand des Plagioklases; Chlorit nach Biotit.

Probe: 47 (22/8/3) - Tonalit

Fundort: E-Kordillere. San Lucas, an der Panamericana, zwischen Saraguro und Loja, 29 km südlich von Saraguro; Höhe 2080 m.

Makroskopisch: grauer, mittelkörniger, hypidiomorpher Plutonit mit glänzendem Biotit.

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung. Albit: selten, unverzwillingt, unzoniert und opt. positiv. Plagioklas: tafelig, verzwillingt und zoniert. Brauner Biotit: z.T. die grüne Hornblende verdrängend. Akzessorisch Titanit und Magnetit.

Probe: 48 (12/10/13) - Granodiorit

Fundort: E-Kordillere. Nahe der Ortschaft San Lucas, an der Panamericana, zwischen Saraguro und Loja, ca. 29 km südlich von Saraguro.

Makroskopisch: hellgraues, grob- bis mittelkörniges, hypidiomorphes Gestein.

U. d. M.: Quarz: bis zu 5,2 mm grosse, xenomorphe Kristalle mit undulöser Auslöschung. Kalifeldspat: bis zu 4,3 mm lange Perthite. Plagioklas (An_{28}): hypidiomorph, verzwillingt, zoniert und stark umgewandelt (in Calcit und Kaolin); Plagioklas schießt Biotit, Apatit und Zirkon ein. Brauner Biotit sowie selten grüne Hornblende. Akzessorisch Magnetit, Apatit und Zirkon. Sekundärminerale: Calcit, Kaolin, Chlorit und wenig Epidot.

Modus: s. Tab. 3, No. 48.

Probe: 49 (25/8/2) - Granodiorit

Fundort: E-Kordillere. Südlich der Ortschaft San Lucas, auf dem Weg nach Jimbilla.

Makroskopisch: hellgrauer, grobkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: bis zu 4,8 mm grosse, xenomorphe Kristalle mit undulöser Auslöschung. Kalifeldspat: bis zu 5,6 mm lange Perthite. Plagioklas (An_{26}): eng verzwillingt, stark kaolinitisiert und saussuritisiert. Brauner Biotit: bis zu 2,3 mm grosse, tafelige Kristalle, an den Spaltrissen gelegentlich in Chlorit umgewandelt. Selten grüne Hornblende. Akzessorisch Magnetit. Sekundärminerale: Epidot, Kaolin und Chlorit.

Modus: s. Tab. 3, No. 49.

Probe: 50 (25/8/2a) - Orthogneis

Fundort: E-Kordillere. Nahe der Ortschaft Jimbilla, nördlich von Loja. Randfazies zu Probe 49.

Makroskopisch: hellgraues, mittelkörniges Gestein mit leicht geregeltem Gefüge.

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung, auch wurmförmig (Myrmekit) in Plagioklas (Abb. 26). Kalifeldspat im Kontakt mit Plagioklas. Plagioklas: manchmal verzwillingt, zoniert und kaolinitisiert. Brauner Biotit: leicht geregelt und z.T. chloritisiert. Selten grüne Hornblende. Akzessorisch Magnetit und Titanit. Sekundärminerale: Sericit, Chlorit und Kaolin.

Probe: 51 (22/8/9) - Tonalit

Fundort: E-Kordillere. An der Panamericana, zwischen (25,5 km südlich) Saraguro und Loja (22 km nördlich davon); Höhe 2060 m.

Makroskopisch: hellgrauer, mittelkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: bis zu 1,9 mm grosse, xenomorphe Kristalle mit undulöser Auslöschung, selten myrmekitisch verwachsen. Plagioklas (An_{31-35}): bis zu 2,5 mm lange, tafelige Kristalle, eng verzwillingt, stark zoniert und schwach kaolinitisiert. Brauner Biotit: bis zu 1,9 mm gross, tafelig, Hornblende verdrängend; auch als Einschlüsse in Plagioklas. Hornblende: bräunlichgrün, bis zu 1,9 mm lange, verzwillingte Kristalle. Akzessorisch Titanit, bis zu 1,4 mm gross, idiomorph; Apatit und Magnetit.

Probe: 52 (22/8/7) - Pegmatit

Fundort: E-Kordillere. An der Panamericana, zwischen Saraguro und Loja, 38 km südlich von Saraguro; Höhe 1980 m.

Geologischer Verband: Das Gestein gehört zum San Lucas-Pluton, und zwar zum randlichen Orthogneis-Komplex.

Makroskopisch: weisser, grobkörniger Pegmatit. Erkennbar Granat (rotbraun), Kalifeldspat (weiss), Quarz (grau) und Muskowit (glänzend).

U. d. M.: Quarz: bis zu 6,7 mm grosse Kristalle mit undulöser Auslöschung. Kalifeldspat: bis zu 1,5 cm lange Perthite. Muskowit: 1 mm grosse, blätterige Kristalle, die bis zu 8 mm lange Aggregate bilden. Granat: 2,2 x 1 cm grosse, idiomorphe Kristalle.

2.3.2.8. Anhang: Sabanilla-Orthogneis-Komplex (Proben 53 - 57)

Probe: 53 (24/8/9) - Orthogneis

Fundort: E-Kordillere. An der Strasse von Zamora nach Loja, 8 km westlich von Zamora; Höhe 1200 m.

Makroskopisch: rötlicher Orthogneis mit deutlichem Lagen-Gefüge.

U. d. M.: bis zu 4,4 mm grosse, xenomorphe Kristalle mit undulöser Auslöschung, z.T. tektonisch zerbrochen, auch als Relikte von Myrmekit. Kalifeldspat: bis zu 3,4 mm lange Perthite, kaolinitisiert und randlich sericitisiert. Plagioklas: schmal und selten verzwillingt. Brauner Biotit und Muskowit; akzessorisch Magnetit.

Probe: 54 (13/10/3) - Orthogneis

Fundort: E-Kordillere. An der Strasse von Zamora nach Loja, bei der Brücke über den Río Zamora, 6 km westlich von Zamora; Höhe 1050 m.

Makroskopisch: hellgrauer Metamorphit.

U. d. M.: Quarz: feinkörnige, verzahnte Aggregate mit undulöser Auslöschung. Kalifeldspat: als Perthit, bis zu 4,7 mm lang, und als Mikroklin bis zu 3,8 mm. Plagioklas: 0,5 mm lange, verzwillingte Kristalle. Untergeordnet brauner Biotit und Chlorit.

Probe: 55 (13/10/7a) - Orthogneis

Fundort: E-Kordillere. An der Strasse von Zamora nach Loja, am Río Sabanilla, 9,8 km westlich von Zamora.

Makroskopisch: hellgrauer, fein- bis mittelkörniger Metamorphit.

U. d. M.: Quarz: feinkörnige, verzahnte Aggregate. Kalifeldspat: in Form von Perthit. Plagioklas: verzwillingt, mit gebogenen Lamellen. Brauner Biotit, eingeregelt und tektonisch verbogen. Muskowit: zusammen mit Biotit. Akzessorisch Magnetit und Zirkon (in Biotit).

Probe: 56 (13/10/9 und 9a) - Orthogneis

Fundort: E-Kordillere. An der Strasse zwischen Zamora und Loja, 3,7 km westlich des Río Sabanilla in 1470 m Höhe (13,5 km westlich von Zamora).

Makroskopisch: hellgrauer, fein- bis mittelkörniger Metamorphit.

U. d. M.: Quarz: feinkörnige, verzahnte Aggregate mit undulöser Auslöschung. Kalifeldspat: selten. Plagioklas (An_{32}): verzwillingt, mit gebogenen Lamellen. Brauner Biotit und Muskowit als Nebengemengteile. Akzessorisch Magnetit und Ilmenit.

Probe: 57 (25/8/6) - Turmalin-Pegmatit

Fundort: E-Kordillere. Geröll aus dem Río Sabanilla, zwischen Zamora und Loja.

Makroskopisch: Turmalin-Pegmatit mit folgenden erkennbaren Mineralen: Schörl (tiefschwarz, gerundet, 2,5 cm lang), Quarz (grau), Kalifeldspat (rötlich), Plagioklas (weisslich) sowie Muskowit.

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung, wurmförmig in myrmekitischer Verwachsung. Kalifeldspat: bis zu 1,3 cm lange Perthite, z.T. sericitisiert. Plagioklas: bis zu 6,3 mm lange, eine Zwillingslamellen (Albit-Gesetz). Turmalin: olivbraun. Muskowit: bis zu 1,6 mm grosse, blätterige Kristalle. Sericit kommt auf Rissen vor. Granat: Spessartin, körnig, stark zerbrochen. Unter pegmatitisch-pneumatolytischen Bedingungen wird ein Pyralspit (Alm_{70} $Spess_{30}$ bis $Spess_{80}$ Alm_{20}) gebildet (PABST 1938 in TRÖGER 1969, S. 82).

2.3.3. Gruppe III: West-Kordillere

2.3.3.1. Piedrancha-Pluton (Probe 58)

Probe: 58 (28/2/3) - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. An der Strasse von Tuquerres nach Tumaco/S-Kolumbien, 10,4 km westlich der Ortschaft Piedrancha, Quebrada Campanario; Höhe 1550 m.

Makroskopisch: rötlichgrauer, grob- bis mittelkörniger, hypidiomorpher Tonalit an der Grenze zu Granodiorit. Erkennbare Minerale: Quarz (grau), Kalifeldspat (rötlich), Plagioklas (weiss), Biotit (dunkelbraun) und Hornblende (schwarz).

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung, auch in myrmekitischem Gefüge an den Plagioklas-Rändern. Kalifeldspat selten. Plagioklas (An_{46}): verzwillingt nach dem Albit- und Albit-Karlsbader-Gesetz, stark zoniert und saussuritisiert. Brauner Biotit: randlich chloritisiert. Grüne Hornblende: bis zu 4,3 mm lange, verzwillingte Kristalle. Akzessorisch Magnetit, z.T. skelettartig, bis zu 1,3 mm; Hämatit, Zirkon (0,2 mm) und Titanit.

2.3.3.2. Cuellaje-Pluton (Probe 59, 60)

Probe: 59 ("Cuellaje 2") - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. Nahe der Ortschaft Cuellaje.

Makroskopisch: heller, grobkörniger, hypidiomorpher Plutonit (ähnlich Probe 58).

U. d. M.: Quarz: hypidiomorph mit undulöser Auslöschung, zeigt Böhm'sche Streifung und enthält Plagioklas-, Biotit-, Hornblende-, Magnetit- und Apatit-Einschlüsse. Plagioklas: hypidiomorph, nach dem Albit- und Karlsbader- oder dem Albit-, Karlsbader-, Periklin- und Baveno-Gesetz verzwillingt; teilweise, selten auch vollständig sericitisiert, kommt als Einschluss auch in Biotit und Hornblende vor. Plagioklas bildet zwei Generationen: Plagioklas I (Ab_{40}), opt. (+), bis zu 5,2 mm lang,

Durchmesser 4,2 x 2,8 mm, stark zoniert, enthält Hornblende-Einschlüsse. Plagioklas II (An_{28}), opt. (-), schwach zoniert oder unzoniert. Biotit: braun, prismatisch, bis zu 3 mm Durchmesser. Hornblende: 4,4 mm lange, grüne, skelettartige, prismatische Kristalle, die verzwillingt und z.T. chloritisiert sind. Sie treten manchmal als Kern in Biotit auf. Schnittlagen senkrecht (001) zeigen undulöse Auslöschung. Chlorit: grün, pleochroitisch, zeigt anomale braune Interferenzfarben. Akzessorisch Apatit, Titanit und Magnetit (0,6 mm).

Probe: 60 ("Cuellaje 15") - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. Nahe der Ortschaft Cuellaje.

Makroskopisch: graues, grobkörniges, hypidiomorphes Gestein.

U. d. M.: Quarz: 2,8 mm gross, xenomorph, mit undulöser Auslöschung, Einschlüsse von Plagioklas und Biotit. Plagioklas (An_{26-35}): 4,7 mm lange, hypidiomorphe Kristalle mit deutlicher Zonierung; nach dem Albit- und Karlsbader- oder dem Albit-, Karlsbader- und Periklin-Gesetz verzwillingt. mehr oder weniger stark sericitisiert. Biotit: bis 3 mm, stets opacitisiert und randlich chloritisiert, oft Plagioklas-Einschlüsse. Aktinolithische Hornblende: 5,8 mm lange, grünliche, hypidiomorphe, prismatische, verzwillingte Kristalle. Akzessorisch Titanit in Hornblende, Apatit (0,1 mm) als feine Nadeln in Plagioklas sowie Magnetit in allen Hauptgemengteilen. Chlorit, grünlich pleochroitisch, zeigt anomale braune Interferenzfarben und tritt als Sekundärmineral auf.

2.3.3.3. Macuchi-Pluton (Probe 61)

Probe: 61 (WH 56) - Quarz-Gabbro

Fundort: W-Kordillere. Nahe der Ortschaft Macuchi/Cerros de Alasi (79°04'W/0°52'S).

Makroskopisch: graugrüner, mittelkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: bis zu 0,6 mm, xenomorph, als Zwickelfüllung. Plagioklas (An_{55}): 2,1 mm lange, hypidiomorphe Kristalle, nach dem Albit- und/oder dem Albit- und Periklin-Gesetz verzwillingt; stets stark zoniert und, vom Kern ausgehend, sericitisiert; randliche Chloritisierung selten. Plagioklas oft als Einschlüsse (An_{53}) in Hornblende. Die opt. (-) Hornblende tritt in Form bis zu 3 mm langer, xenomorpher bis hypidiomorpher, olivgrüner Kristalle, verzwillingt und an den Rändern uralitisiert auf. Uralitisierung kann nach STEWART (1947: in TRÖGER 1969, S. 440) durch Tonerdeüberschuss bedingt sein. Im Kern ist die Hornblende in sehr kleine, braune Biotit-Blättchen umgewandelt, diese wiederum in Chlorit (grün und stark pleochroitisch). Akzessorisch idiomorpher Titanit, Magnetit, Ilmenit und Apatit.

Modus: s. Tab. 3, No. 61.

2.3.3.4. Ventanas-Pluton (Proben 62 - 64)

Probe: 62 (LE 2) - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. Nahe Chaso Juan, Strasse Ventanas -- Echeandia (79°10'W/1°28'S).

Makroskopisch: hellgrüner, mittelkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: xenomorph, bis zu 3,6 mm Durchmesser, undulös auslöschend, zeigt Böhm'sche Streifung und schließt Plagioklas ein. Plagioklas (An_{35-42}): Andesin, max. 3,2 mm lang, verzwillingt nach dem Albit- und Karlsbader-Gesetz oder dem Albit- und Periklin-Gesetz, stark zoniert. Biotit: braun, prismatisch, bis zu 2,2 mm skelettartig und chloritisiert, schließt Quarz, Apatit, Zirkon, Titanit (0,4 mm), Hämatit, Ilmenit und Pyrit ein. Chlorit: grün, pleochroitisch, zeigt anomal braune Interferenzfarben und ist sekundär aus Biotit entstanden.

Probe: 63 (22/11/78-6) - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. Flussgeröll aus dem Río Ventanas, bei Ventanas.

Makroskopisch: hellgraues, mittel- bis grobkörniges, hypidiomorphes Gestein.

U. d. M.: Quarz: bis zu 3 mm, hypidiomorph mit undulöser Auslöschung. Plagioklas (An_{34}): 3,3 mm lange, hypidiomorphe Kristalle, nach dem Albit- und Karlsbader-Gesetz verzwillingt, mässig zoniert; schließt Biotit, Epidot, Apatit und Erz ein. Biotit: 1,6 mm, braun, schwach chloritisiert, verdrängt die Hornblende. Hornblende: bis zu 2,8 mm lange, prismatische, verzwillingte Kristalle. Akzessorisch Titanit (0,35 mm), Zirkon in Hornblende, Magnetit (0,8 mm), Pyrit (0,4 mm) und Apatit. Sekundärminerale: Chlorit: grünlich pleochroitisch, zeigt anomal braune Interferenzfarben; Epidot: 0,2 mm, körnig, gelblich, schwach pleochroitisch.

Probe: 64 (22/11/78-7) - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. Flussgeröll aus dem Río Ventanas, bei Ventanas.

Makroskopisch: hellgrünes, grob- bis mittelkörniges, hypidiomorphes Gestein.

U. d. M.: Quarz: xenomorph als Zwickelfüllung, erreicht eine Grösse bis zu 1 mm. Plagioklas (An_{37}): Andesin, maximal 3,1 mm lang, nach dem Albit- und Karlsbader-Gesetz verzwillingt, stark zoniert bis zum Kern, Randbereiche jedoch nicht zoniert. Biotit: braun, 0,3 bis 0,8 mm. Hornblende: 1,3 mm lang, schließt Plagioklas ein, sowohl grün, prismatisch, als auch braun und verzwillingt; Auslöschungsschiefe 15°. Hypersthen: farblos bis bräunlich, schwach pleochroitisch, bis 1 mm lang. Diopsid: prismatisch, 1,9 mm lang, hypidiomorph, schwach pleochroitisch und entmischt. Akzessorisch Magnetit.

2.3.3.5. Caluma-Pluton (Probe 65)

Probe: 65 (29/8/2) - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. Unmittelbar beim Dorfe Caluma, südlich von Ventanas; Höhe 460 m.

Makroskopisch: grauer, mittelkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: xenomorph, mit undulöser Auslöschung. Plagioklas (An_{39-45}): maximal 4,8 mm lang, verzwillingt und stark zoniert. Hornblende: grünlichbraun, selten in Biotit umgewandelt. Akzessorisch Magnetit, Ilmenit, Titanit und Apatit. Epidot: als sekundäre Bildung.

2.3.3.6. Monjas-Pluton (Probe 66)

Probe: 66 (28/8/8) - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. An der Strasse Guaranda -- Monjas, 21 km westlich von Guaranda; Höhe 2665 m.

Makroskopisch: graues, mittelkörniges, hypidiomorphes Tiefengestein.

U. d. M.: Quarz: xenomorph und feinkörnig. Plagioklas (An_{31}): verzwillingt, zoniert und kaolinitisiert. Brauner Biotit: gelegentlich die Hornblende verdrängend. Hornblende: lichtgrün bis farblos, verzwillingt. Akzessorisch Magnetit.

2.3.3.7. Telimbela-Pluton (Probe 67)

Probe: 67 (22/11/78-3) - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. 7,7 km vor Telimbela; Höhe 1900 m.

Makroskopisch: hellgrauer, grob- bis mittelkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: xenomorph, mit undulöser Auslöschung, bis zu 2,8 mm gross, mit Böhm'scher Streifung. Plagioklas (An_{38-40}): Andesin, tafelig, hypidiomorph, 3,1 x 2,3 mm, nach dem Albit- und Periklin oder dem Albit- und Karlsbader-Gesetz verzwillingt, im Kern stark zoniert, kommt als Einschluß in Quarz, Biotit und Hornblende vor. Biotit: braun, 3,3 mm, schwach chloritisiert, verdrängt die grüne Hornblende. Hornblende: 1,6 mm lange, grüne, prismatische und verzwillingte Kristalle. Titanit tritt am Rand der Hornblende auf. Akzessorisch Magnetit.

2.3.3.8. Bilevan-Pluton (Proben 68 - 72)

Probe: 68 (28/8/7) - Quarz-Norit

Fundort: W-Kordillere. 4 km südlich der Ortschaft Bilevan, 26 km südlich von Guaranda.

Makroskopisch: grünlicher, mittelkörniger, hypidiomorpher Plutonit. Auf Klüften sekundär gebildeter Pyrit.

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung sowie verwachsen mit Plagioklas in poikilitischem Gefüge. Plagioklas: maximal 1,9 mm lange, tafelige Kristalle, verzwillingt und schwach zoniert; Randzone unverzwillingt. Biotit: nahezu gänzlich in Chlorit umgewandelt, Relikte auch in Hornblende. Hornblende: grünliche, bis zu 2,5 mm lange, prismatische und verzwillingte Kristalle, Hypersthen: blassgrünlich und prismatisch. Akzessorisch Magnetit, Ilmenit, Pyrit und Titanit. Sekundärminerale: Epidot, bis zu 0,2 mm, gelblich und pleochroitisch.

Probe: 69 ("Torneado") - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. Nahe dem Dorf Torneado, bei der Ortschaft Bilevan (79°06'W/1°49'S).

Makroskopisch: hellgraugrüner, grob- bis mittelkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: xenomorph bis hypidiomorph mit undulöser Auslöschung, kommt in zwei Generationen vor (bis zu 3,1 mm); die grossen Kristalle sind hypidiomorph und zeigen Böhm'sche Streifung (Abb. 27, sehr ähnlich der Mikroklin-Vergitterung). Quarz tritt auch zusammen mit Plagioklas in poikilitischem Gefüge auf. Plagioklas (An_{43-45}): Andesin, 2,8 mm lange, hypidiomorphe Kristalle, nach dem Albit- und Karlsbader-Gesetz oder nach dem Albit-Periklin- und dem Karlsbader-Gesetz verzwillingt, gelegentlich vollständig sericitisiert und kaolinitisiert ("gefüllte" Plagioklase); meist stark zoniert. Biotit: bis zu 2,8 mm gross, tafelig, schwach chloritisiert und Plagioklas, Quarz, Pyrit und Magnetit einschliessend. Pyrit: bis zu 3 mm, auch in Form von "Adern" auftretend. Magnetit, Apatit: (0,2 mm), Pistazit: bis zu 0,2 bis 1 mm grosse, prismatische und verzwillingte Kristalle, die sich in oder an den chloritisierten Biotiten befinden.

Probe: 70 (6/10/78-14) - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. San Pablo de Atenas, 1,7 km nördlich von Puebla Las Guardias; Höhe 2740 m.

Makroskopisch: heller, mittel- bis grobkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: xenomorph, bis zu 6,3 mm, mit undulöser Auslöschung, zeigt Böhm'sche Streifung und schließt Plagioklas, Hornblende und Erz ein. Plagioklas (An_{46-48}): 2,8 mm lange,

tafelige, hypidiomorphe, stark zonierte Kristalle, die sericitisiert und saussuritisiert sind ("gefüllte" Plagioklase); auch als Einschluß in Biotit und Hornblende. Biotit: bis zu 3,4 mm Durchmesser, randlich und an den Spaltrissen in Chlorit umgewandelt; verdrängt die Hornblende. Hornblende: 3,7 mm lang, olivgrün, idiomorph, prismatisch und verzwillingt. Akzessorisch Zirkon (58 um), idiomorph in Biotit und Erz. Als Sekundärmineral Chlorit: grünlich pleochroitisch, zeigt anomal violette Interferenzfarben; Epidot: 0,4 mm lang, prismatisch, tritt an den Biotit-Rändern sowie im Plagioklas auf.

Modus: s. Tab. 3, No. 70.

Probe: 71 (6/10/78-13) - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. San Pablo de Atenas, 0,5 km südlich von Puebla Las Guardias; Höhe 2100 m.

Makroskopisch: graues, grobkörniges, hypidiomorphes Tiefengestein.

U. d. M.: Quarz: hypidiomorph, mit undulöser Auslöschung, schließt Plagioklas ein. Plagioklas (An_{44}): 3,1 mm, hypidiomorph, nach dem Albit- und Karlsbader- oder dem Albit-, Karlsbader- und Periklin-Gesetz oder dem Albit-, Karlsbader- und Bavenoer-Gesetz verzwillingt; mit Chlorit-Einschlüssen. Biotit: 0,53 mm, braun, chloritisiert, schuppig. Hornblende: bis zu 6,3 mm lange, braune, prismatische Kristalle, die Plagioklas, Quarz und Chlorit einschliessen. Augit: xenomorph und verzwillingt, tritt nur als Kern in Hornblende auf; die Auslöschungsschiefe beträgt 43°. Chlorit: hellgrüner Pleochroismus, zeigt anomal blaue Interferenzfarben. Akzessorisch Erz.

Probe: 72 (6/10/78-12) - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. San Pablo de Atenas, 1 km südlich von Puebla Las Guardias; Höhe 2050 m.

Makroskopisch: hellgrauer, mittel- bis grobkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: 5,9 mm, xenomorph mit undulöser Auslöschung, zeigt Böhm'sche Streifung und schließt Plagioklas, Hornblende und Erz ein (Abb. 28). Plagioklas: 2,7 mm lange, tafelige, hypidiomorphe und zonierte Kristalle, nach dem Albit- und Karlsbader- oder dem Albit-, Karlsbader- und Periklin- oder dem Albit- und Periklin-Gesetz verzwillingt. Der Plagioklas ist saussuritisiert und chloritisiert. Hornblende: 3 mm lange, grüne, idiomorphe bis hypidiomorphe Kristalle, verzwillingt und chloritisiert; sie schliessen Quarz ein. Akzessorisch Hämatit, Ilmenit, Apatit in Hornblende sowie Titanit in Plagioklas und Hornblende. Sekundärminerale: Chlorit: grünlich pleochroitisch zeigt anomal violette Interferenzfarben; Epidot als Umwandlungsprodukt von Plagioklas.

2.3.3.9. Guayquichuma-Pluton (Probe 73)

Probe: 73 (25/8/15) - Monzogranit

Fundort: W-Kordillere. An der Strasse Loja -- Las Pinas, nahe Guayquichuma; Höhe 960 m.

Makroskopisch: grauer, feinkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung, auch in graphischer Verwachsung mit Kalifeldspat. Kalifeldspat: perthitisch mit Karlsbader Verzwillingung. Plagioklas (An_{17}): tafelig, verzwillingt. Nebengemengteile: brauner Biotit. Akzessorisch Magnetit und Ilmenit. Sekundärminerale: Sericit und Leukoxen (pseudomorph nach Ilmenit).

2.3.3.10. Cariamanga-Macará-Pluton (Proben 74 - 76)

Probe: 74 (25/8/1) - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. Pueblo Lucarqui, bei Cruzpamba.

Makroskopisch: grauer, mittelkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung, selten wurmförmig in myrmekitischem Gefüge. Kalifeldspat: selten, maximal 1,6 mm lang. Plagioklas (An_{30-34}): verzwillingt, zoniert und im Kern saussuritisiert; schließt Quarz, Biotit, Magnetit ein. Biotit: braun, chloritisiert, führt Einschlüsse von Quarz, Magnetit und Apatit. Hornblende: grünlich, prismatisch, sehr selten. Epidot: körnig, tritt am Rand des Biotit auf. Akzessorisch Magnetit, Ilmenit, Hämatit, Apatit und Titanit.

Probe: 75 (25/8/3) - Tonalit

Fundort: W-Kordillere. Nahe der Ortschaft Macará.

Makroskopisch: mittelkörniges, hypidiomorphes Tiefengestein.

U. d. M.: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung. Plagioklas: maximal 4,2 mm lange, verzwillingte, zonierte und saussuritisierte Kristalle. Biotit: braun, z.T. in Orthochlorit umgewandelt. Hornblende: grüne, bis 1,4 mm lange, verzwillingte und prismatische Kristalle. Akzessorisch Magnetit. Orthochlorit: grünlich, ohne Pleochroismus, mit anomal braunen Interferenzfarben. Epidot: idiomorphe, nur 0,1 mm kleine, prismatische Kristalle, oft auch körnig.

Probe: 76 (25/8/4) - Norit

Fundort: W-Kordillere. Ortsausgang von Piñon, nördlich Macará.

Makroskopisch: dunkler, grünschwarzer, grobkörniger Plutonit mit untergeordnet weissen Plagioklas-Einsprenglingen.

U. d. M.: Plagioklas (An_{50}): grosse, tafelige Kristalle, eng verzwillingt nach dem Albit-Gesetz und stark umgewandelt. Olivin: gänzlich in Chrysotil übergegangen. Bronzit: bis zu 1 cm lange, farblose Kristalle mit sehr guter Spaltbarkeit nach (100); opt. (-) mit positiver Hauptzone; nach dem Olivin entstanden. Akzessorisch Magnetit und Hercynit.

2.3.4. Gruppe IV: Küstengebiet

2.3.4.1. Gomez-Pluton (Probe 77, 78)

Probe: 77 (5/10/78-5) - Tonalit

Fundort: Küstengebiet. Nahe der Ortschaft P. P. Gomez, 8 km westlich der Strasse Jipijapa -- Guayaquil.

Makroskopisch: grüner, mittelkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: xenomorph, auch myrmekitisch in Plagioklas. Kalifeldspat: nach dem Karlsbader-Gesetz verzwillingt, umgibt Plagioklas. Plagioklas (An_{30-34}): 2,5 mm lange, tafelige, hypidiomorphe Kristalle, verzwillingt, zoniert und stark kaolinitisiert. Biotit: schuppige, bräunlichgrüne Kristalle. Hornblende: 1 mm lang, grünlich, prismatisch. Aktinolith: 0,8 mm, prismatisch, grünlich. Augit: 2,8 mm, idiomorph bis hypidiomorph, verzwillingt, Auslöschungsschiefe 44^{o}. Akzessorisch Magnetit und Apatit. Sekundärmineral: Chlorit.

Probe: 78 (5/10/78-4) - Tonalit

Fundort: wie Probe 77.

Makroskopisch: grüngraues Gestein. Randfazies zu Probe 77, daher feinkörniger und dunkler als diese.

U. d. M.: sehr ähnlich Probe 77.

2.3.4.2. Pascuales-Pluton (Probe 79, 80)

Probe: 79, 80 (6/10/78-1a, 1b) - Tonalit

Fundort: Küstengebiet. Pascuales, ca. 8 km nördlich von Guayaquil.

Makroskopisch: hellgrauer, mittelkörniger, hypidiomorpher Plutonit.

U. d. M.: Quarz: bis zu 2,5 mm, xenomorph. Plagioklas (An_{32}): 3 mm lang, verzwillingt, zoniert, saussuritisiert und stark kaolinitisiert, schließt Aktinolith ein. Biotit: schuppig, bräunlichgrün und stark chloritisiert. Grüne Hornblende und Aktinolith: 2,7 mm lange, grüne, idiomorphe bis hypidiomorphe, verzwillingte Kristalle. Im Aktinolith-Kern tritt Augit (nur in Probe 5/10/78-1b) auf. Hypersthen: nur in Probe 5/10/78-1a. Epidot: körnig. Chlorit: grünlich pleochroitisch, zeigt anomal blaue Interferenzfarben. Akzessorisch Erz.

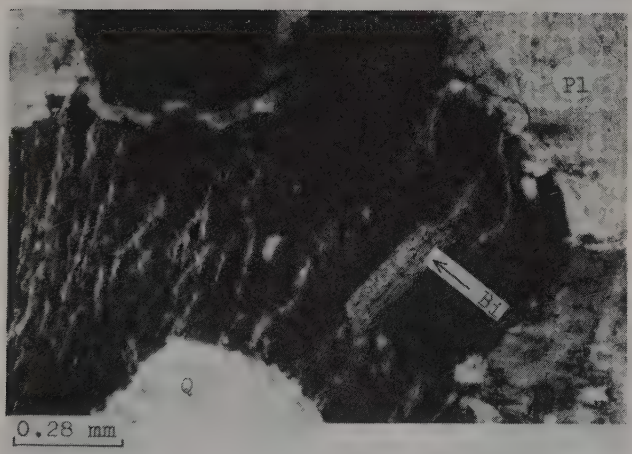


Abb. 4: "Orthoklas"-Mikroperthit (dunkel) mit Einschluß von Biotit (Bi). Q = Quarz, Pl = Plagioklas. Leuco-Monzogranit des Tena-Baeza-Plutons/Oriente (Probe No. 2). x Polarisatoren.

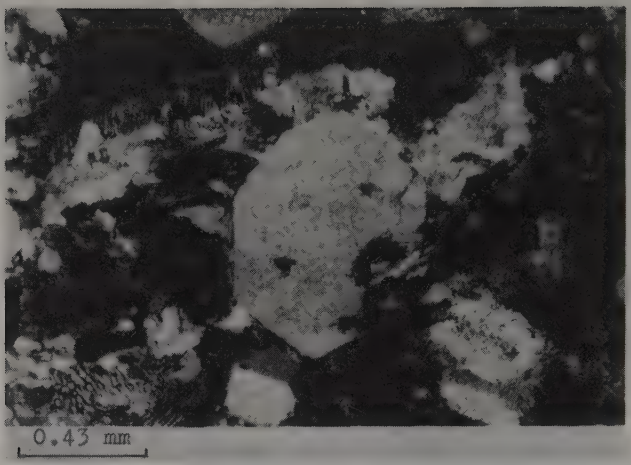


Abb. 5: Idiomorpher Quarz (0.8 x 0.6 mm) in myrmekitisch verwachsenem Alkalifeldspat und Quarz. Alkaligranit des Tena-Baeza-Plutons/Oriente (Probe No. 3). x Pol.

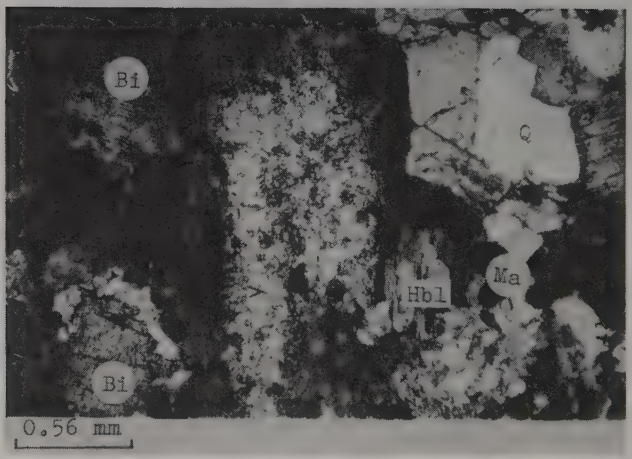


Abb. 6: Sericitisierter Plagioklas (Pfeil) umgeben von Biotit (Bi), Hornblende (Hbl), Magnetit (Ma) und Quarz (Q). Monzogranit des Tena-Baeza-Plutons/Oriente (Probe No. 6). x Pol.

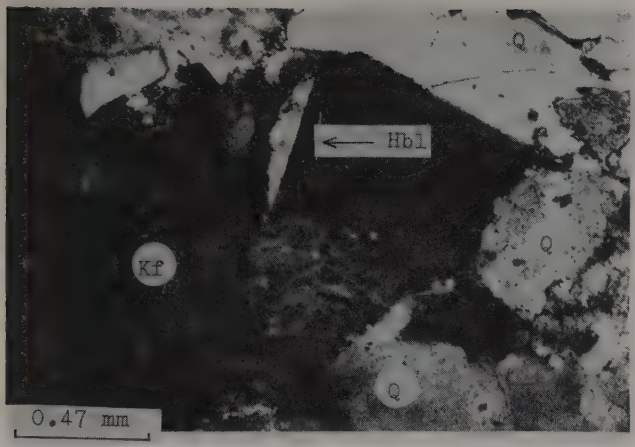


Abb. 7: Verzwillingte Hornblende (Hbl) als Einschluß in Perthit (Kf). Q = Quarz. Monzogranit des Tena-Baeza-Plutons/Oriente (Probe No. 7). x Pol.

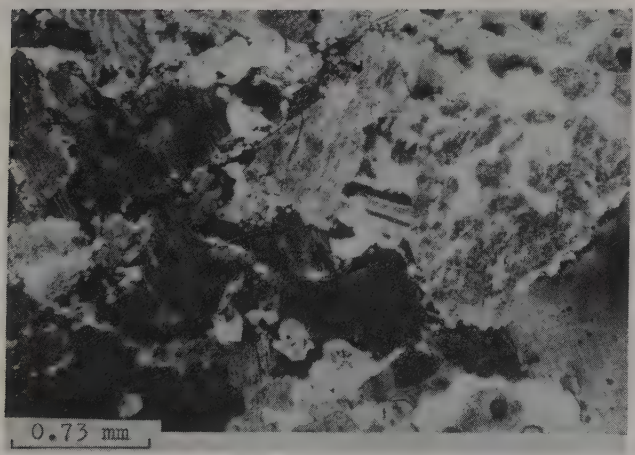


Abb. 8: "Orthoklas"-Mikroperthit (grau) und Quarz (weiß). Alkaligranit des Tena-Baeza-Plutons/Oriente (Probe No. 8). x Pol.

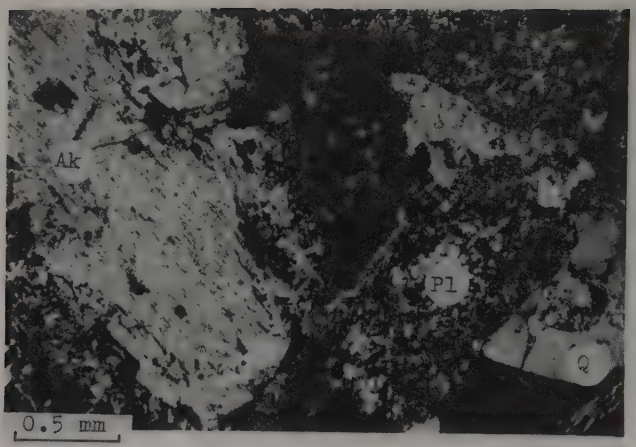


Abb. 9: Stark saussuritisierter Plagioklas (Pl) neben Aktinolith (Ak) und Quarz (Q). Niedrigmetamorpher Quarz-Diorit (Meta-Quarz-Diorit in unterer Grünschiefer-Fazies) des Tena-Baeza-Plutons/ Oriente, Randfazies (Probe No. 10). x Pol.

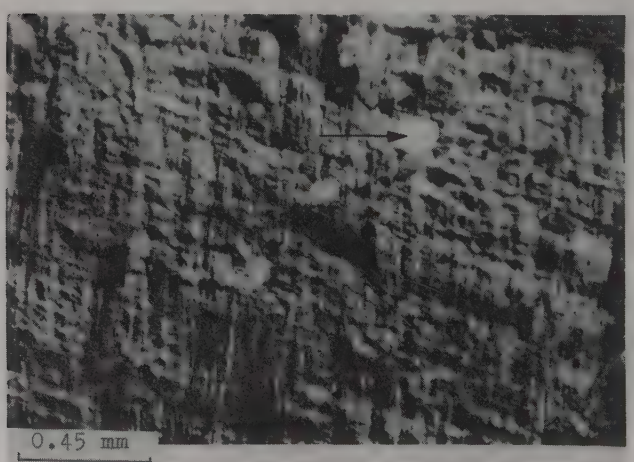


Abb. 10: Mikroklin mit typischer Zwillingsgitterung und kleinem Quarz-Einschluß (Pfeil). Alkaligranit des Tena-Baeza-Plutons/ Oriente (Probe No. 12). x Pol.

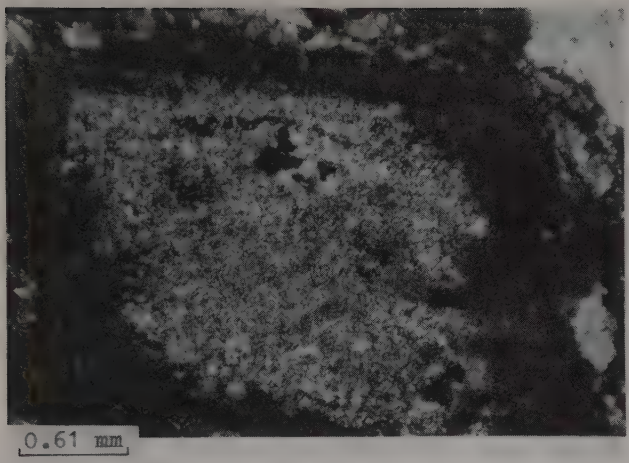


Abb. 11: Stark sericitisierter Plagioklas, randlich mit Biotit und Magnetit. Tonalit des Zamora-Plutons/Oriente (Probe No. 15). x Pol.

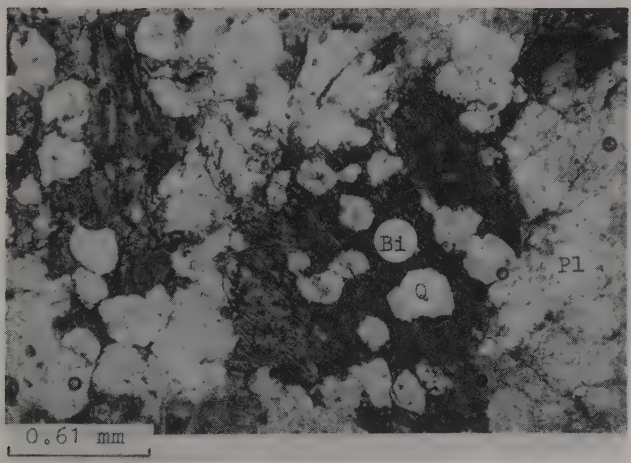


Abb. 12: Chloritisierter Biotit (Bi) mit Quarz-Einschlüssen (Q). P = Plagioklas. Tonalit des Zamora-Plutons/Oriente (Probe No. 16). Ungekr. Pol.

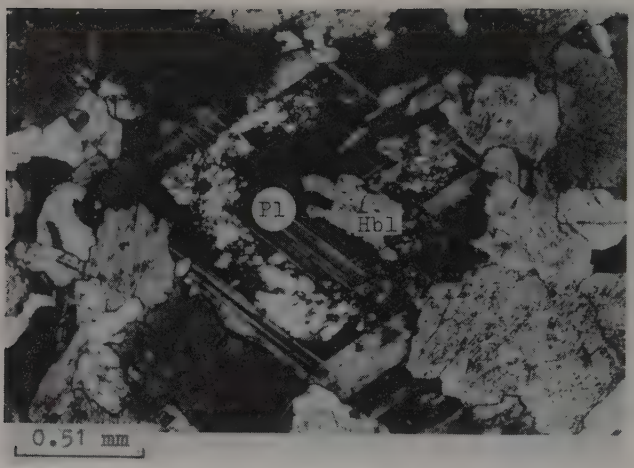


Abb. 13: Sericitisierter Plagioklas (Pl) mit Einschluß von Hornblende (Hbl). Quarz-Gabbro des Zamora-Plutons/Oriente (Probe No. 17). x Pol.

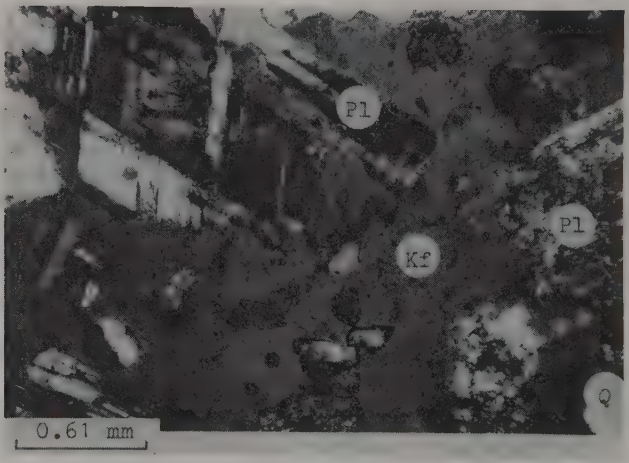


Abb. 14: Xenomorpher Kalifeldspat (Kf) mit zahlreichen Einschlüssen von z. T. stark korrodiertem Plagioklas (Pl). Q = Quarz. Granodiorit des Zamora-Plutons/Oriente (Probe No. 19). x Pol.

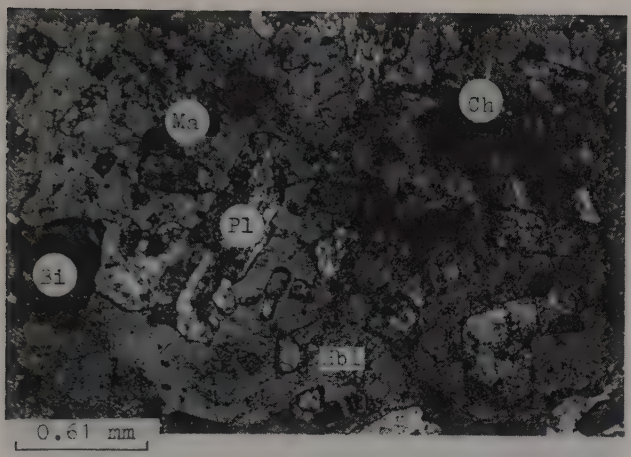


Abb. 15: Plagioklas (Pl), Biotit (Bi), Chlorit (Ch) und Magnetit (Ma) umschlossen von und eingebettet in Hornblende (Hbl). Poikilitisches Gefüge. Granodiorit des Zamora-Plutons/Oriente (Probe No. 19). x Pol.

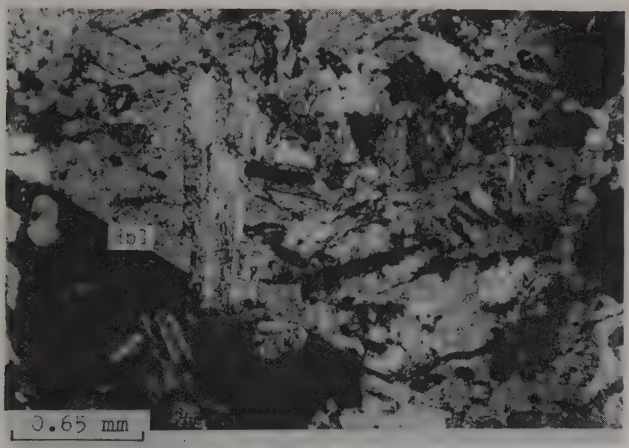


Abb. 16: Großer verzwillingter Hornblende-Kristall (Hbl). Quarz-Norit des Zamora-Plutons/Oriente (Probe No. 21). x Pol.

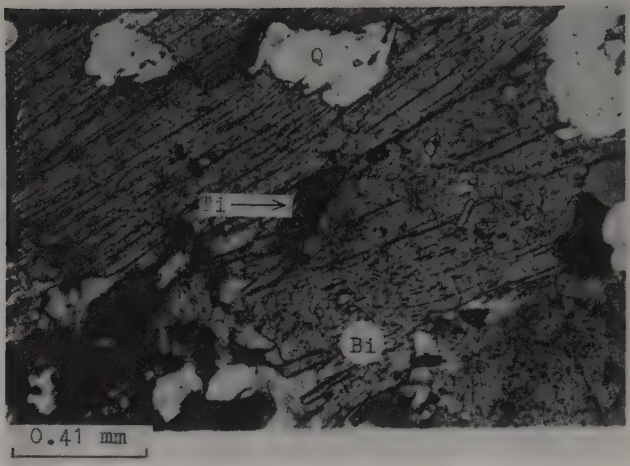


Abb. 17: Großer Biotit-Kristall (Bi) mit Einschlüssen von Quarz (Q), Titanit (Ti) und Magnetit (schwarz). Tonalit des Santa Barbara-Plutons (Probe No. 23). x Pol.

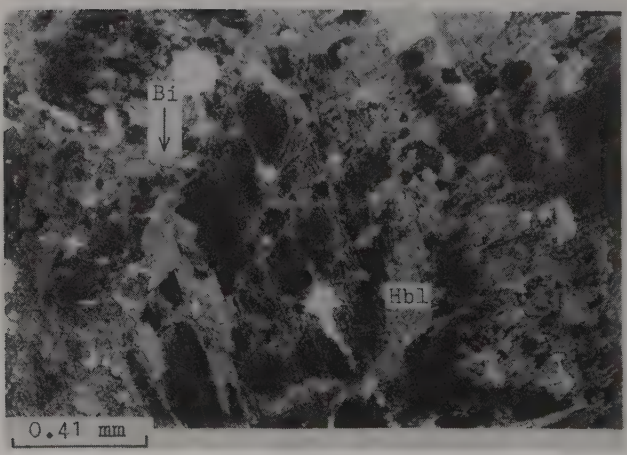


Abb. 18: Großer Hornblende-Kristall (Hbl), aufgrund von fein verteilten Pyrit- und Ilmenit-Einschlüssen dunkel erscheinend. In der Hornblende "Querbiotit" (Bi). Mela-Tonalit des Santa Barbara-Plutons (Probe No. 25). Ungekr. Pol.

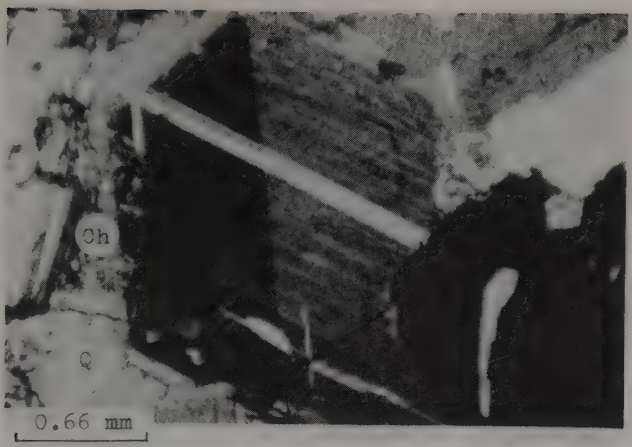


Abb. 19: Stark zonierter Plagioklas (Albit-, Periklin- und Karlsbad-Gesetz), randlich chloritisiert (Ch). Q = Quarz. Granodiorit des Pungala-Plutons (Probe No. 33). x Pol.

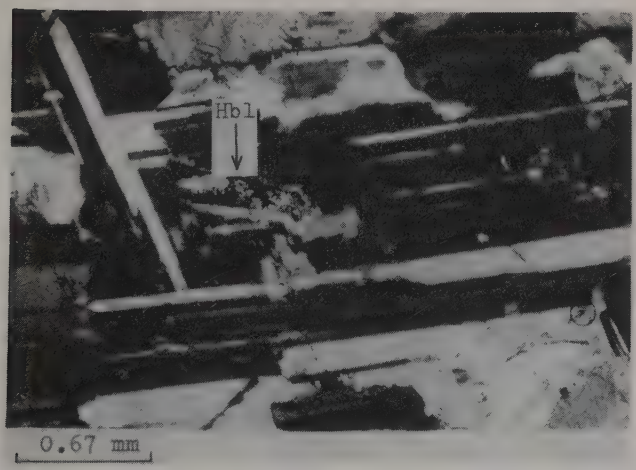


Abb. 20: Verzwillingter Plagioklas (Albit-, Periklin-Gesetz) mit Hornblende-Einschlüssen (Hbl). Granodiorit des Pungala-Plutons (Probe No. 34). x Pol.

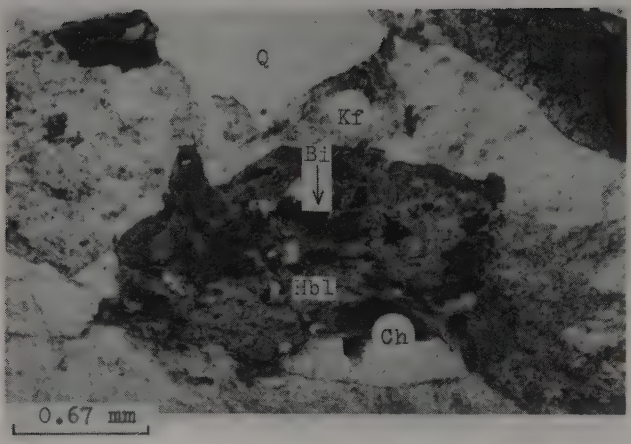


Abb. 21: Biotit (Bi) verdrängt Hornblende (Hbl). Chloritisierung (Ch) von Biotit. Q = Quarz, Kf = Kalifeldspat. Granodiorit des Pungala-Plutons)Probe No. 34). Ungekr. Pol.

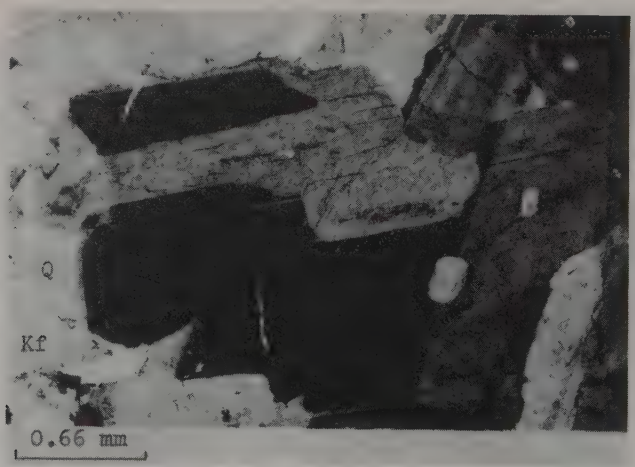


Abb. 22: Stark zonierter Plagioklas (mit mehr als 30 Zonen). Kf = Kalifeldspat, Q = Quarz. Granodiorit des Pungala-Plutons (Probe No. 37). x Pol.

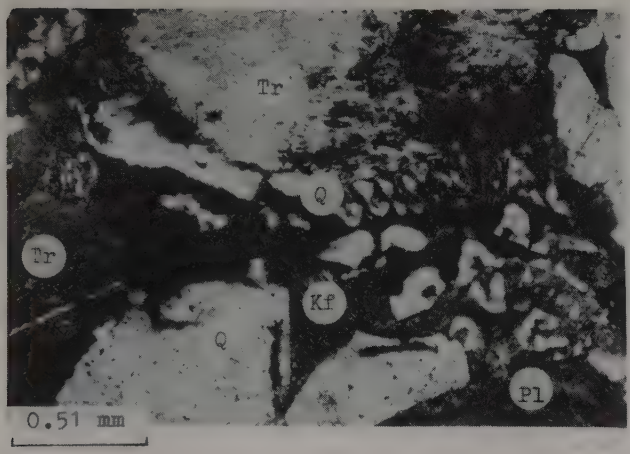


Abb. 23: Quarz (Q) und Kalifeldspat (Kf) in granophyrischer Verwachsung. Tr = Tremolit, Pl = Plagioklas. Granodiorit des Pungala-Plutons (Probe No. 38). x Pol.

Abb. 24: Großer Biotit-Kristall (Bi) mit Einschlüssen von Plagioklas (Pl). Kf = Kalifeldspat. Granodiorit des Alao-Plutons (Probe No. 40). x Pol.

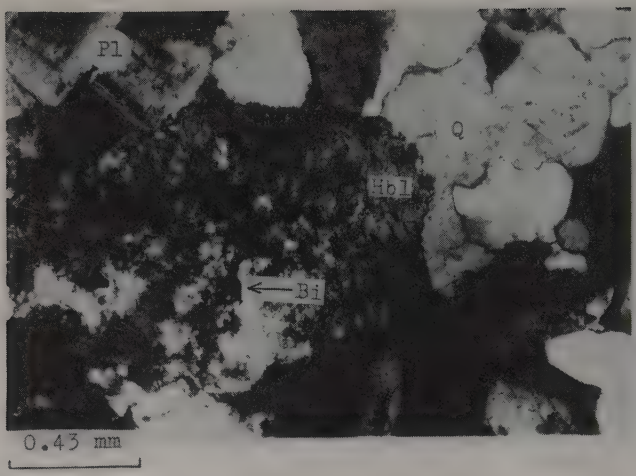


Abb. 25: Starke Verdrängung der Hornblende (Hbl) durch Biotit (Bi). Pl = Plagioklas, Q = Quarz. Granodiorit des Alao-Plutons (Probe No. 40). x Pol.

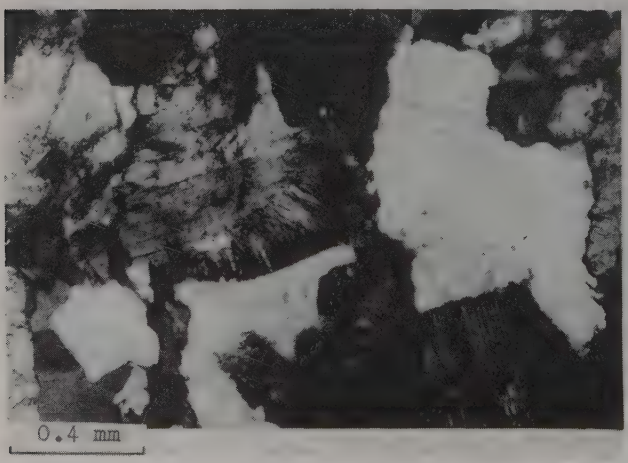


Abb. 26: Myrmekitisches Gefüge im Orthogneis des San Lucas-Plutons (Probe No. 50). x Pol.

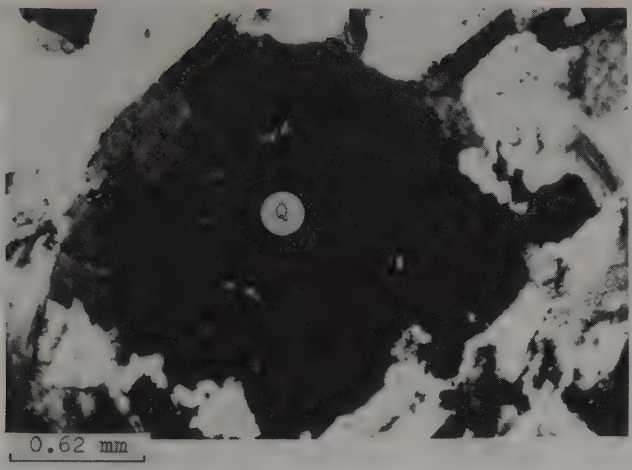


Abb. 27: Böhm'sche Streifung im Quarz (Q). Tonalit des Bilevan-Plutons (Probe No. 69). x Pol.

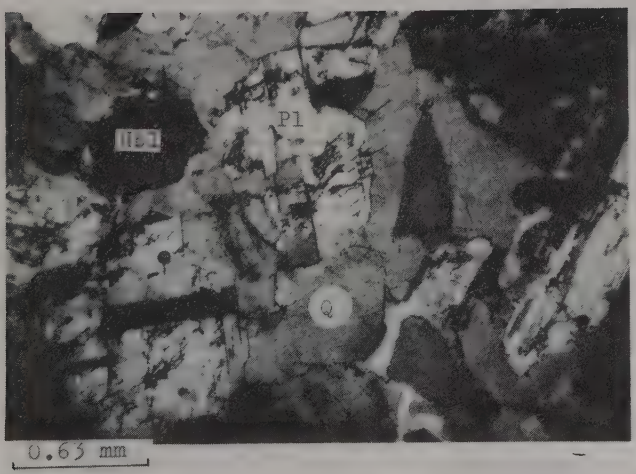


Abb. 28: Quarz (Q) umschließt Plagioklas (Pl), Hornblende (Hbl) und Erz (schwarz). Tonalit des Bilevan-Plutons (Probe No. 72). x Pol.

2.4. Verteilung der plutonischen Gesteine in Ecuador

2.4.1. Allgemeines

Die untersuchten Plutonite von Ecuador verteilen sich auf folgende Typen (in Prozenten): Tonalit 49, Granodiorit 20, Monzogranit 11, Alkaligranit 10, Quarz-Diorit 3, Quarz-Gabbro 3 und Quarz-Norit 4. Die Häufigkeiten der einzelnen Typen (in Prozenten) sind für den Oriente, die E-Kordillere, die W-Kordillere und das Küstengebiet in Abb. 29 graphisch bzw. in Tab. 4 tabellarisch dargestellt.

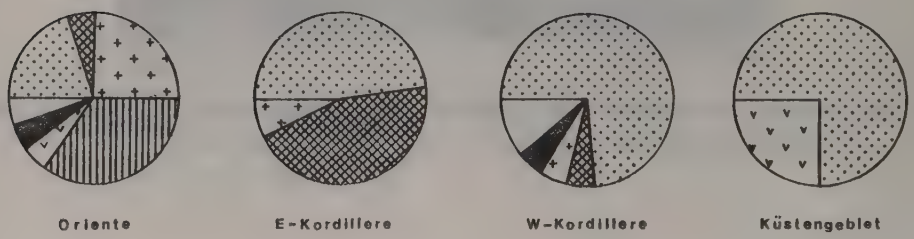
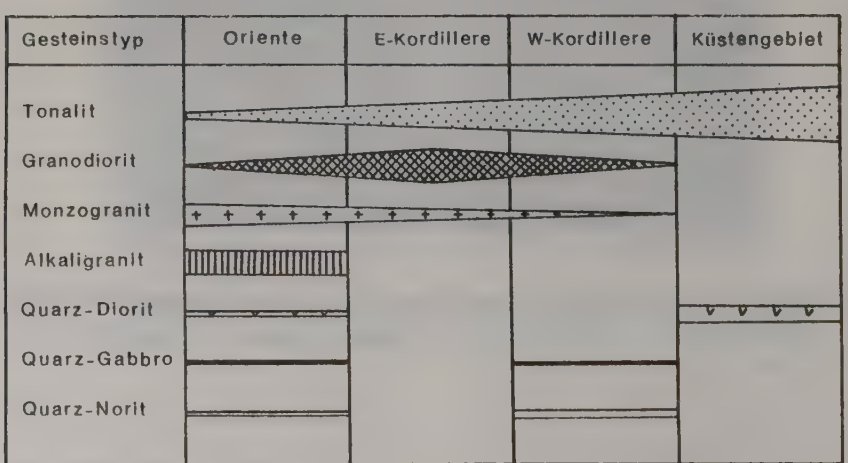


Abb. 29: Typenhäufigkeit der Plutonite (in Prozenten) für den Oriente, die E-Kordillere, die W-Kordillere und das Küstengebiet von Ecuador.

Tab. 4: Verteilung der Gesteinstypen in den vier Zonen von Ecuador.



2.4.2. Tonalit

Tonalite sind in Ecuador weit verbreitet. Sie bilden 49% der untersuchten Plutonite und nehmen von Osten nach Westen an Menge zu. Im Oriente sind sie im südlichen Teil (dem Zamora-Pluton) vertreten, in der E-Kordillere bilden sie sich im nördlichen Teil (dem Santa Barbara- und dem Chuga-Pluton) und einem Teil des San Lucas-Plutons; in der W-Kordillere kommen sie in allen Plutoniten vom äussersten Norden bis zum äussersten Süden vor. Die Intrusiv-Körper des Küstengebietes bestehen fast ausschließlich aus Tonalit.

Die Tonalite sind hellgrau bis hellgraugrün oder grünlichweiss, mittel- bis grobkörnig, kompakt, holokristallin-hypidiomorph. Quarz tritt in Form 82 µm bis 6,3 mm langer, xenomorpher Kristalle auf, die undulös auslöschen und Böhm'sche Streifung zeigen. Er ist poikilitisch mit Plagioklas verwachsen und schließt 91 µm grossen Zirkon, 0,1 mm langen Apatit und Magnetit ein; in Proben von der W-Kordillere kommen als Einschlüsse Plagioklas, Biotit und Hornblende hinzu. Kalifeldspat ist sehr selten. Der "Orthoklas" ist max. 2,3 mm lang, zeigt Karlsbader Verzwillingung und schließt Biotit und Magnetit ein. Plagioklas (An_{22-46}) ist maximal 5,8 mm lang, hypidiomorph, häufig nach dem Albit- oder Albit-Karlsbad- oder dem Albit-Periklin, Albit-Karlsbad-Periklin-Baveno-Gesetz verzwillingt, bis zum Kern stark zoniert, aussen jedoch stets unzoniert. Er ist zum Teil, selten jedoch vollständig kaolinitisiert; sericitisiert und saussuritisiert ("gefüllte" Plagioklase). Der Plagioklas schließt im Zamora-Pluton Biotit, Hornblende, Apatit (0,1 mm) und Erz ein. Die 6,9 mm langen, braunen, chloritisierten Biotit-Kristalle sind gelegentlich opacitisiert. Im Zentral-Teil der W-Kordillere verdrängen sie die Hornblende. Sie umschliessen Quarz, Plagioklas, Magnetit, Ilmenit, Pyrit, Titanit (0,4 mm), Apatit (0,4 mm) und Zirkon (82 µm). Die grüne Hornblende ist 6,3 mm lang, idiomorph bis subidiomorph und verzwillingt; die Kristalle sind manchmal chloritisiert und umschliessen Quarz, Plagioklas, Biotit, Chlorit, Magnetit, Titanit, Apatit und Zirkon in poikilitischem Gefüge. Hinzu kommen lokal Lepidolith, der nahezu einachsig ist, Hypersthen, der bis 1 mm lang, farblos bis bräunlich und schwach pleochroitisch ist, sowie xenomorpher, verzwillingter Augit, der nur als Kern in Hornblende auftritt. Akzessorien sind Magnetit (1,8 mm), Ilmenit, Hämatit, idiomorpher Titanit, Pyrit (3 mm lang), Apatit und Zirkon. Als Sekundär-Minerale treten Sericit, Muskowit und Epidot auf. Die 0,4 mm langen, prismatischen, oft auch körnigen Epidot-Kristalle zeigen gelblichen bis grünlichen, schwach ausgebildeten Pleochroismus. Sie sind verzwillingt und treten an den Biotit-Rändern sowie in Plagioklas auf. Der ebenfalls sekundäre Chlorit weist starken grünen Pleochroismus auf; seine Interferenzfarben sind anomal blau, braun oder violett.

2.4.3. Granodiorit

Die Granodiorite stellen etwa ein Fünftel (20%) der untersuchten Plutonite Ecuadors. Sie treten in der E-Kordillere am häufigsten auf und nehmen nach Osten und nach Westen hin ab.

Es handelt sich um rötlich-hellgraue, grobkörnige, kompakte, holokristallin-hypidiomorphe Gesteine. Sie bestehen aus folgenden Mineralen: Quarz: in Form bis zu 5,2 mm langer, xenomorpher bis hypidiomorpher Kristalle, die undulös auslöschen und Böhm'sche Streifung zeigen. Quarz kommt auch in myrmekitischem Gefüge an den Plagioklas-Rändern und in graphischer Verwachsung mit Kalifeldspat vor; er führt Einschlüsse von Magnetit und Apatit. Kalifeldspat: bis zu 5,3 mm lange, xenomorphe Perthite, die gelegentlich nach dem Karlsbader-Gesetz verzwillingt sind. Kalifeldspat grenzt stets an Plagioklas und ummantelt den Plagioklas. Einschlüsse sind Biotit, Hornblende und Apatit. Plagioklas (An_{26-40}): bis zu 7,5 mm lang, hypidiomorph, nach dem Albit-, Albit- Karlsbader- oder Albit-Periklin-, Albit-Karlsbad-Periklin-Gesetz verzwillingt, stark zoniert (gelegentlich mehr als 30 Zonen), im Kern kaolinitisiert und saussuritisiert, selten am Rand sericitisiert und chloritisiert. Quarz, Biotit, Hornblende, Magnetit, Apatit und Zirkon kommen als Einschlüsse vor. Biotit: 2,5 mm lang, braun, opacitisiert, chloritisiert, verdrängt die Hornblende und enthält Einschlüsse von Quarz, Plagioklas, Magnetit und Apatit. Hornblende: bis zu 6,6 mm lang, braungrünlich bis grün, verzwillingt, manchmal beginnende Umwandlung in Biotit; Einschlüsse von Apatit und Zirkon. Selten kommen vor: prismatischer Aktinolith, faseriger Tremolit, der in braunen Biotit umgewandelt ist, Augit, in den Randbereichen stark uralitisiert, Diopsid, 2 mm lang und verzwillingt, und Hypersthen. Akzessorien: Magnetit, Ilmenit, Hämatit, Apatit und Zirkon. Als Sekundär-Minerale treten gelblicher Epidot (Pistazit), Calcit, Kaolin und Chlorit auf.

2.4.4. Monzogranit

Die Monzogranite bilden 11% der untersuchten ecuadorischen Plutonite. Sie sind im nördlichen Teil des Oriente (im Tena-Baeza-Pluton) weit verbreitet. Neben dem Oriente kommen sie in der E-Kordillere (im Papallacta-Pluton) und in der W-Kordillere (im Guayquichuma-Pluton) vor und nehmen von Osten nach Westen ab.

Die Monzogranite sind helle, grauweisse bis rötlichweisse, mittel- bis grobkörnige, kompakte, holokristallin-hypidiomorphe Gesteine aus Quarz (grau), Plagioklas (weiss), Kalifeldspat (rot) und pseudohexagonalem, 3 mm grossem Biotit.
Der Mineralbestand wird gebildet aus: Quarz: 74 µm - 5,3 mm lange, xenomorphe Kristalle mit undulöser Auslöschung, auch myrmekitisch in Plagioklas; häufig optisch zweiachsig, enthält Einschlüsse von Biotit und selten von Plagioklas. Kalifeldspat: 0,4 - 9,8 mm lange, hypidiomorphe Perthite, nach dem Karlsbader-Gesetz verzwillingt, schließt Quarz, Plagioklas, Biotit, Lepidolith, Hornblende, Magnetit, Apatit und Zirkon ein. Plagioklas (An_{10-30}): 0,5 - 5,3 mm lange Kristalle, die manchmal vom Kern ausgehend kaolinitisiert und sericitisiert sind. Häufig ist Zonarbau. Gelegentlich beobachtet man Reaktionssäume und Einschlüsse von idiomorphem Quarz, Biotit, Hornblende, Magnetit, Hämatit und Apatit. Biotit: 2 mm lange, braune, idiomorphe Kristalle, oft bis zur Hälfte chloritisiert, selten jedoch opacitisiert, fast stets

mit opaken Einschlüssen und pleochroitischen Höfen. Der Biotit schließt Apatit und Zirkon ein. Lepidolith ist selten. Hornblende bildet 1,6 mm lange, grüne, idiomorphe Zwillingskristalle mit Magnetit-Einschlüssen. Gelblichgrüner Aktinolith kommt nur im Papallacta-Pluton vor. Akzessorisch treten Magnetit, Ilmenit, Hämatit, Titanit, Apatit und Zirkon auf. Sekundär-Minerale sind: körniger Epidot und Orthochlorit. Postmagmatische Miarolen in Monzoniten und anderen intermediären Plutoniten enthalten manchmal faserigen Aktinolith (PECORA und FISHER 1946). Es handelt sich bei dieser autohydrothermalen Bildung offenbar um Abbauprodukte von benachbartem Pyroxen im Plutonit.

2.4.5. Alkaligranit

Die Alkaligranite bilden ein Zehntel der untersuchten Plutonite Ecuadors. Sie kommen nur im nördlichen Teil des Orientes, und zwar im Tena-Baeza-Pluton vor.

Diese weissen, rötlichweissen, roten, mittel- bis grobkörnigen, kompakten, holokristallin-hypidiomorphen Gesteine bestehen aus: Quarz: in zwei xenomorphen Generationen 25 µm bis 4,7 mm gross, mit undulöser Auslöschung und Einschlüssen von Albit, Kalifeldspat und Magnetit. Kalifeldspat: bis zu 9,7 mm lange Perthite, nach dem Karlsbader-Gesetz verzwillingt, sehr häufig mit Biotit-, Magnetit- und Apatit-Einschlüssen. Kalifeldspat tritt auch als Mikroklin in 0,5 - 4,4 mm langen, verzwillingten Kristallen mit Quarz- und Biotit-Einschlüssen auf. Albit: in 0,3 - 3,4 mm langen Kristallen, die unverzwillingt oder nach dem Albit-Gesetz verzwillingt und schwach sericitisiert sind. Biotit: blätterige und tafelige, bis 1,2 mm lange, braune, schwach chloritisierte Kristalle, die Apatit-Nadeln enthalten. Hornblende: 0,5 mm lange, idiomorphe, grüne Kristalle, z.T. in Biotit umgewandelt. Lepidolith und Orthit treten selten auf. Akzessorien sind: Magnetit, Ilmenit, Titanit, Apatit, Zirkon und Almandin.

2.4.6. Quarz-Diorit

Die Quarz-Diorite bilden nur 3% der untersuchten Plutonite Ecuadors und fanden sich im Oriente und in der W-Kordillere. Es sind grünliche, mittelkörnige, kompakte, holokristallin-hypidiomorphe Gesteine mit fleckenartigem, weissem Plagioklas.

Sie bestehen aus: Quarz: xenomorphe Zwickelfüllung, mit undulöser Auslöschung. Plagioklas (An_{35-38}: nach dem Albit- oder Albit-Periklin-Gesetz verzwillingt. Manchmal beobachtet man Zonarbau ohne Verzwillingung. Der Plagioklas ist stark saussuritisiert, sericitisiert ("gefüllte" Plagioklase), schwach chloritisiert und enthält Erz- und Hornblende-Einschlüsse. Biotit: grünlichbraun bis braun mit einer maximalen

Länge von 2,8 mm, mit Magnetit-Einschlüssen. Die grüne, verzwillingte Hornblende mit Siebstruktur enthält Quarz, Plagioklas, Biotit, Chlorit, Magnetit, Titanit, Rutil, Apatit und Epidot.

2.4.7. Quarz-Gabbro

Der Quarz-Gabbro macht 3% der untersuchten Plutonite aus und kommt im südlichen Teil des Orientes (Zamora-Pluton) und in der W-Kordillere (Macuchi-Pluton) vor.

Die grau-grünen mittelkörnigen, hypidiomorphen Gesteine bestehen aus: Quarz: 0,6 mm lange, xenomorphe Kristalle als Zwickelfüllung. Sehr selten Kalifeldspat als "Orthoklas" mit Karlsbader Verzwillingung. Plagioklas (An_{51-63}): nach dem Albit- und Albit-Periklin-Gesetz verzwillingt. Sie sind immer stark zoniert und - vom Kern ausgehend - sericitisiert. Die Plagioklase enthalten Hornblende, Chlorit, Magnetit und Titanit als Einschlüsse. Hornblende findet sich in Form 3 mm langer, xenomorpher bis hypidiomorpher grüner Kristalle, verzwillingt und an den Rändern uralitisiert. Die Hornblende enthält Einschlüsse von Quarz, Plagioklas, Biotit, Chlorit, Apatit (0,1 mm), Rutil, Titanit, Magnetit und Epidot in Siebstruktur-Form. Brauner Biotit: bis 3 mm gross, stets opacitisiert und randlich chloritisiert, enthält oft Plagioklas-Einschlüsse. Chlorit: grünlich, pleochroitisch, zeigt anomal blaue Interferenzfarben.

2.4.8. Quarz-Norit

Sie bilden 4% der untersuchten Plutonite Ecuadors und stammen vom südlichen Teil des Orientes sowie dem zentralen und südlichen Teil der W-Kordillere.

Die grünlichen, grünlichschwarzen, dunklen, mittel- bis grobkörnigen, kompakten, holokristallin-hypidiomorphen Gesteine mit weissen Flecken bestehen aus: Quarz: xenomorph mit undulöser Auslöschung, mit Plagioklas in poikilitischem Gefüge verwachsen. Kalifeldspat ist sehr selten. Plagioklas: 1,9 mm lange, tafelige Kristalle, nach dem Albit- oder Albit-Baveno-Gesetz verzwillingt. Plagioklas ist schwach zoniert, seine Randzone jedoch unverzwillingt. Oft findet man Plagioklas als Einschluß in Hornblende mit pseudo-ophitischem Gefüge; umgekehrt sind Hornblende-Einschlüsse im Plagioklas selten; längs der Spaltrisse ist er sericitisiert. Biotit: nahezu gänzlich in Chlorit umgewandelt, auch als Relikt in Hornblende vorhanden. Hornblende: grünliche, bis zu 2,5 mm lange, prismatische und verzwillingte Kristalle, die grosse Plagioklas-Kristalle einschliessen. Prismatischer, blassgrüner Hypersthen und farbloser Diopsid treten im Kern der Hornblende auf, d.h. die Pyroxene sind in Hornblende umgewandelt. Im Macará-Pluton treten Bronzit und Olivin

auf. Bronzit: bis zu 1 cm lange, farblose Kristalle mit sehr guter Spaltbarkeit nach (100), opt. negativ mit positiver Hauptzone. Sie sind nach dem Olivin entstanden. Olivin ist gänzlich in Chrysotil umgewandelt. Akzessorien: Magnetit, Ilmenit, Apatit, Titanit, Herzynit und Pyrit. Sekundär Epidot in bis zu 0,2 mm grossen, gelblichen, pleochroitischen Kristallen.

3. Petrochemie der Plutonite

Insgesamt wurden von 42 Gesteinsproben die Hauptelement- und zusätzlich von 32 Proben Spurenelement-Gehalte, nämlich von Rb, Sr, Ni, Cr, Zr, Y, bestimmt (Tab. 6 bis 9). Die Lokalität der einzelnen Proben und ihre Beschreibung ist in Kap. 2.3. und 2.4. angeführt. Die fünf Analysen A bis E stammen aus einem unveröffentlichten Appendix zur Arbeit von HENDERSON(1979). Wenn FeO nicht angegeben ist, wurde das gesamte Eisen als Fe_2O_3 bestimmt. Die Gliederung innerhalb der Tabellen mit den unterschiedenen Gebieten Oriente, E-Kordillere/Graben, W-Kordillere und Küstengebiet erfolgte geographisch nach N nach S.

3.1. Gesteinsanalysen - Hauptelemente

Aus der chemischen Analyse wurde durch ein Computerprogramm der normative Mineralbestand errechnet (s. Kap. 1.5.4.), und zwar die CIPW- und die RITTMANN-Norm (nass-plutonisch). Für den Vergleich mit dem modal ermittelten Mineralbestand (s. Tab. 3) eignet sich die CIPW-Norm vor allem deswegen nicht, da bei ihr nur die drei Feldspatkomponenten Orthoklas or, Albit ab und Anorthit an errechnet werden und keine Aufteilung in Kalifeldspat und Plagioklas erfolgt. Die modernere RITTMANN-Norm bietet diese Möglichkeit und damit auch die Eintragung in das QAPF-Doppeldreieck[+]. Ansonsten ist die Übereinstimmung zwischen den beiden Normen beim Quarzgehalt und der Summe der dunklen Mineralien (= Farbzahl CI), besonders bei den sauren Gesteinen, recht gut. Ein weiterer Vorteil der RITTMANN-Norm ist die mögliche Berechnung von Biotit und Hornblende. Daß die ausgewählten Proben ziemlich frisch und kaum umgewandelt sind, zeigt die Tatsache, daß nur in fünf der 42 Proben normativ Cordierit (bei der CIPW-Norm Korund c) auftritt, der durch einen Al-Überschuß des Gesteins bedingt ist, wobei vor allem durch Wegführung von Alkalien nicht mehr alles Al in den Feldspäten gebunden werden kann.

+) Die Einteilung und Benennung der Plutonite (und Vulkanite) wurde nach der STRECKEISEN-Klassifikation (1967, 1976) vorgenommen (Tab. 5 und Abb. 30). Bei den Vulkaniten wurde der Modifizierung dieses Systems hinsichtlich der Felder 9*, 9, 10* und 10 nach PICHLER & STENGELIN (1979) gefolgt.

Tab. 5: Schlüssel zu Abb. 30 (Plutonite)

Gruppe		Feld	Gesteinsname	Farbzahl (CI)
Quarz-Feldspat-Plutonite	Q 60 – 100 Q 20 – 60	1a	Silexit	0– 5
		1b	Quarz-reicher Granitoid	0– 5
		1c	Quarz-reicher Granodioritoid	0– 5
		2	Alkaligranit	0–10
		3a	Syenogranit	5–15
		3	Granit:	
		3b	Monzogranit	5–15
		4	Granodiorit	5–20
		5	Tonalit	10–30
Feldspat-Plutonite	Q 5 – 20 Q 0 – 5	6*	Quarz-Alkalisyenit	0–15
		7*	Quarz-Syenit	5–20
		8*	Quarz-Monzonit	10–30
		9*	Quarz-Monzodiorit (An < 50)	15–35
			Quarz-Monzogabbro (An > 50)	25–45
			Quarz-Monzonorit (Opx ≥ Cpx)	25–45
		10*	Quarz-Anorthosit	0–10
			Quarz-Diorit (An < 50)	20–40
			Quarz-Gabbro (An > 50)	30–50
			Quarz-Norit (Opx ≥ Cpx)	30–50
		6	Alkalisyenit	0–15
		7	Syenit	10–25
		8	Monzonit	15–35
		9	Monzodiorit (An < 50)	20–35
			Monzogabbro (An > 50)	25–45
			Monzonorit (Opx ≥ Cpx)	25–45
		10	Anorthosit	0–10
			Diorit (An < 50)	25–45
			Gabbro (An > 50)	30–55
			Norit (Opx ≥ Cpx)	30–55
			Troktolith (Ol ≥ Opx + Cpx)	30–55
Feldspat-Foid-Plutonite	F 0 – 10 F 10 – 60	6'	Foid-führender Alkalisyenit	0–15
		7'	Foid-führender Syenit	10–25
		8'	Foid-führender Monzonit	15–35
		9'	Foid-führender Monzodiorit (An<50)	20–35
			Foid-führender Monzogabbro (An>50)	25–45
		10'	Foid-führender Anorthosit	0–10
			Foid-führender Diorit (An<50)	25–45
			Foid-führender Gabbro (An>50)	30–55
		11	Foid-Syenit	0–30
			Malignit	30–60
			Shonkinit	60–90
		12	Foid-Monzosyenit (syn. Foid-Plagisyenit)	15–40
		13	Foid-Monzodiorit (An < 50)	20–50
			Foid-Monzogabbro (An > 50) (beide syn. Essexit)	20–55
		14	Foid-Diorit (An < 50)	30–50
			Foid-Gabbro (An > 50) (beide syn. Theralith)	35–65
Foid-Plutonite	F 60 – 100	15	Foidolite $Na_2O > K_2O$: Urtit, Ijolit, Melteigit $Na_2O < K_2O$: Italit, Fergusit, Missourit	0–30 30–70 70–90
Ultramafische Plutonite		16	Ultramafite Peridotit [Ol > 40] Pyroxenit [Ol < 40 und Px > Hbl] Hornblendit [Ol < 40 und Hbl > Px]	90–100

Felder 2 – 5: Wenn Q = 45 – 60, dann mit Adjektiv quarz-reich.
Felder 6 – 10: Wenn Q > 0, dann mit Adjektiv quarz-führend.
Felder 11 – 14: Wenn F = 45 – 60, dann mit Adjektiv foid-reich.
Haben die Gesteine eine Farbzahl, die unter bzw. über dem angegebenen CI-Wert liegt, so sind sie mit dem Präfix Leuco bzw. Mela zu versehen. Bei einer Farbzahl >65 ist anstelle der Vorsilbe Mela das Adjektiv mafitisch voranzustellen.
An = An-Gehalt Plagioklas, Cpx = Klinopyroxen, Opx = Orthopyroxen, Hbl = Hornblende, Ol = Olivin, Px = Pyroxen.

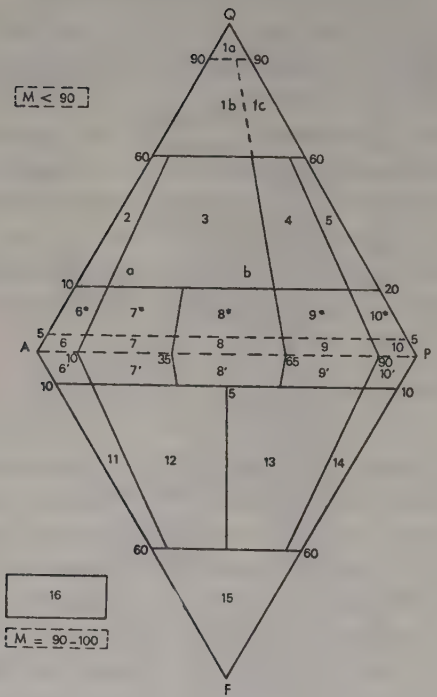


Abb. 30: Einteilung plutonischer Gesteine im Doppeldreieck Quarz-Alkalifeldspat-Plagioklas-Foide (QAPF). Nach STRECKEISEN (1967, 1976).

Zu Tab. 6 und 8 bereits vorliegende Analysen plutonischer Gesteine von Ecuador aus HENDERSON (unveröff. Appendix zur Arbeit 1979).

A = Tena-Baeza-Pluton/Oriente. Rio Zuñac-Brücke, Straße Baños-Puyo, 78°10'W/1°24'S.

B = Santa Ana-Plutone/W-Kordillere. San Ignacio, Straße Aloag--Santo Domingo, 78°44'W/0°26'S.

C = Santa Ana-Plutone/W-Kordillere. El Tránsito, alte Straße Quito--Santo Domingo, 78°51'W/0°18'S.

D = Santa Ana-Plutone/W-Kordillere. San Antonio, Straße Aloag--Santo Domingo, 78°52'W/0°20'S.

E = Bilevan-Pluton/W-Kordillere. Huapuloma, Straße Guaranda--Las Guardias--Balzapamba, 79°06'W/1°48'S.

TAB. 6. PLUTONITE ECUADOR - GRUPPE II: ORIENTE

MAJOR ELEMENTS	I-1	I-2	I-3	I-5	I-6	I-8	I-11
SIO2	73,90	76,30	77,60	75,15	66,30	77,20	75,90
AL2O3	14,10	13,20	12,80	12,75	16,20	12,80	12,50
FE2O3	1,90	1,20	1,10	0,70	4,00	1,40	0,47
FEO	-	-	-	0,85	-	-	0,53
MNO	-	-	-	0,08	-	-	0,11
MGO	0,30	0,20	0,20	0,30	0,90	0,20	0,20
CAO	1,80	0,90	0,20	0,75	2,90	0,70	0,90
NA2O	4,40	4,10	4,20	4,00	4,10	4,50	3,90
K2O	3,30	4,20	4,00	4,70	3,80	4,00	4,40
TIO2	0,20	0,10	0,10	0,10	0,40	0,10	0,09
P2O5	-	-	-	0,03	-	-	0,02
CO2	-	-	-	0,06	-	-	0,04
H2O	0,70	0,40	0,60	0,60	0,80	0,60	0,90
TOTAL	100,60	100,60	100,80	100,07	99,40	101,50	99,96
CIPW NORM							
Q	31,4	34,1	37,1	31,7	20,4	34,0	34,1
OR	19,5	24,8	23,6	27,8	22,5	23,6	26,0
AB	37,2	34,7	35,5	33,8	34,7	38,1	33,0
AN	8,9	4,5	1,0	3,0	14,4	2,9	3,6
DI	-	-	-	0,2	-	0,2	0,4
HY	0,7	0,5	0,5	1,6	2,2	0,4	0,9
MT	-	-	-	1,0	-	-	0,7
HM	1,9	1,2	1,1	-	4,0	1,4	-
IL	-	-	-	0,2	-	-	0,2
RU	0,2	0,1	0,1	-	0,4	-	-
TN	-	-	-	-	-	0,2	-
AP	-	-	-	0,1	-	-	0,0
C	0,0	0,3	1,2	-	0,1	-	-
CC	-	-	-	0,1	-	-	0,1
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)							
QUARTZ	32,0	34,0	34,7	31,9	22,5	32,7	34,4
ORTHOCLASE	21,6	29,4	61,3	64,9	22,2	65,0	32,2
PLAGIOCLASE	42,9	33,9	-	-	46,8	-	31,2
AMPHIBOLE	-	-	-	0,5	-	1,1	1,0
BIOTITE	3,1	2,2	0,1	2,0	7,8	0,7	0,7
CORDIERITE	-	0,2	3,6	-	-	-	-
TITANITE	-	-	-	-	-	0,1	0,1
MAGNETITE	0,3	0,2	0,2	0,4	0,6	0,3	0,3
ILMENITE	0,1	-	0,1	-	0,1	-	-
APATITE	-	-	-	0,1	-	-	-
CALCITE	-	-	-	0,1	-	-	0,1
COLOUR INDEX	3,5	2,6	3,9	3,2	8,5	2,2	2,2
Q COORDINATES	33,1	34,9	36,2	33,0	24,6	33,5	35,2
A STRECKEISEN	22,4	30,2	63,8	67,0	24,3	66,5	32,9
P DOUBLE-	44,5	34,8	-	-	51,1	-	31,9
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1,9	2,1	1,9	2,4	2,7	2,1	2,1
TAU RITTMANN	48,5	91,0	36,0	67,3	30,3	83,0	78,2

TAB. 6. PLUTONITE ECUADOR = GRUPPE I: ORIENTE

MAJOR ELEMENTS	I-12	I-13	A	I-17	I-19	I-21
SIO2	77,50	75,20	74,70	52,90	62,70	43,70
AL2O3	12,10	13,00	13,70	17,30	16,30	15,60
FE2O3	1,00	1,30	1,58	9,20	5,60	15,90
FEO	-	-	-	-	-	-
MNO	-	-	-	-	-	-
MGO	0,20	0,10	0,26	6,00	3,20	9,00
CAO	0,60	0,60	0,92	9,60	5,10	11,00
NA2O	4,30	4,70	3,85	2,20	3,10	0,70
K2O	4,20	4,10	4,75	0,70	2,20	0,30
TIO2	0,10	0,10	0,14	0,70	0,50	1,00
P2O5	-	-	0,04	-	-	-
H2O	0,40	0,40	-	1,50	1,00	1,90
TOTAL	100,40	99,50	99,94	99,10	99,70	99,10

CIPW NORM

Q	35,2	30,9	31,9	10,6	20,8	5,0
OR	24,8	24,2	28,1	4,1	13,0	1,8
AB	36,4	39,8	32,6	18,6	26,2	5,9
AN	1,3	2,3	4,3	35,3	24,1	38,5
DI	1,0	0,3	-	7,7	-	9,8
HY	0,0	0,1	0,6	11,4	8,0	17,9
HM	1,0	1,3	1,6	8,2	5,6	15,9
RU	-	-	0,1	-	0,1	-
TN	0,2	0,2	-	1,7	0,9	2,5
AP	-	-	0,1	-	-	-
C	-	-	0,6	-	-	-

RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)

QUARTZ	34,0	29,9	31,3	12,6	26,2	5,8
ORTHOCLASE	64,0	68,3	34,2	1,5	4,6	0,3
PLAGIOCLASE	-	-	30,3	49,4	49,0	29,5
CLINOPYROXENE	0,4	-	-	-	-	-
ORTHOPYROXENE	-	-	-	-	-	11,8
AMPHIBOLE	1,3	1,3	-	32,1	3,5	49,0
BIOTITE	-	-	2,2	2,6	15,6	1,3
CORDIERITE	-	-	1,4	-	-	-
TITANITE	0,1	0,1	-	0,6	0,1	0,7
MAGNETITE	0,2	0,3	0,2	1,2	1,1	1,4
ILMENITE	-	-	0,1	-	-	0,2
APATITE	-	-	0,1	-	-	-
COLOUR INDEX	2,1	1,8	4,0	36,5	20,2	64,4
Q COORDINATES	34,7	30,5	32,8	10,8	32,9	16,2
A STRECKEISEN	65,3	69,5	35,7	2,3	5,8	0,8
P DOUBLE-	-	-	31,6	77,8	61,4	82,9
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,1	2,4	2,3	0,8	1,4	1,4
TAU RITTMANN	78,0	83,0	54,7	21,6	26,4	14,9

TAB. 7. PLUTONITE ECUADOR - GRUPPE II: E-KORDILLERE/ GRABEN

MAJOR ELEMENTS	II-23	II-24	II-25	II-28	II-29	II-32
SIO2	60,10	60,60	50,30	59,90	63,20	66,50
AL2O3	18,10	15,90	15,30	16,70	16,30	14,70
FE2O3	5,70	6,70	11,60	5,60	2,70	3,60
FEO	-	-	-	2,98	2,47	-
MNO	-	-	-	0,17	0,16	-
MGO	2,50	3,30	5,00	2,60	2,50	2,30
CAO	5,30	5,50	8,70	6,10	5,50	3,10
NA2O	3,90	3,30	3,00	2,80	4,20	4,20
K2O	1,60	1,80	1,10	0,90	1,30	3,80
TIO2	0,90	0,90	2,90	0,60	0,45	0,50
P2O5	-	-	-	0,13	0,11	-
CO2	-	-	-	0,04	0,11	-
H2O	1,00	1,10	1,10	1,30	1,45	1,80
TOTAL	99,10	99,10	99,00	99,82	100,45	100,50

CIPW NORM

Q	16,2	18,7	6,5	23,6	18,9	18,6
OR	9,5	10,6	6,5	5,3	7,7	22,5
AB	33,0	27,9	25,4	23,7	35,5	35,5
AN	26,3	23,3	25,0	29,2	21,8	10,0
DI	-	0,7	6,3	-	3,3	2,8
HY	6,2	7,9	9,6	6,6	6,8	4,4
MT	-	-	-	8,1	3,9	-
HM	5,7	6,7	11,6	-	-	3,6
IL	-	-	-	1,1	0,9	-
RU	0,9	-	-	-	-	-
TN	-	2,2	7,1	-	-	1,2
AP	-	-	-	0,3	0,3	-
C	0,3	-	-	0,4	-	-
CC	-	-	-	0,1	0,3	-

RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)

QUARTZ	21,3	22,6	7,3	27,8	21,4	18,8
ORTHOCLASE	0,1	4,4	3,7	-	3,6	27,5
PLAGIOCLASE	61,4	50,7	46,2	48,9	57,6	40,7
AMPHIBOLE	-	9,4	33,9	-	9,8	11,6
BIOTITE	16,4	11,2	3,0	22,1	5,7	-
TITANITE	-	0,4	4,0	-	0,3	0,5
MAGNETITE	0,7	1,2	1,3	0,9	1,2	0,8
ILMENITE	0,2	0,1	0,5	-	-	0,1
APATITE	-	-	-	0,2	0,2	-
CALCITE	-	-	-	0,1	0,3	-
COLOUR INDEX	17,3	22,3	42,7	23,3	17,4	13,0
Q COORDINATES	25,7	29,0	12,8	36,3	25,9	21,6
A STRECKEISEN	0,1	5,7	6,4	-	4,4	31,6
P DOUBLE-	74,2	65,3	80,8	63,7	69,7	46,8
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1,8	1,5	2,3	0,8	1,5	2,7
TAU RITTMANN	15,8	14,0	4,2	10,0	21,6	21,0

TAB. 7. PLUTONITE ECUADOR = GRUPPE II: E-KORDILLERE/ GRABEN

MAJOR ELEMENTS	II-33	II-35	II-37	II-38	II-40	II-41
SIO2	64,20	63,50	63,30	62,00	68,80	66,10
AL2O3	15,60	15,10	15,20	15,60	15,00	15,70
FE2O3	4,60	3,80	6,00	6,00	3,70	4,50
FEO	-	-	-	-	-	-
MNO	-	-	-	-	-	-
MGO	2,60	2,30	3,90	4,00	1,90	2,40
CAO	4,60	3,50	4,50	4,80	3,80	4,30
NA2O	3,60	3,50	3,00	3,00	3,60	3,60
K2O	2,60	3,20	2,40	2,30	2,30	2,10
TIO2	0,60	0,50	0,80	0,80	0,40	0,50
P2O5	-	-	-	-	-	-
H2O	0,70	0,50	1,10	1,10	0,40	0,70
TOTAL	99,10	100,90	100,20	99,60	99,90	99,90
CIPW NORM						
Q	20,5	25,3	21,5	19,8	28,3	24,5
OR	15,4	18,9	14,2	13,6	13,6	12,4
AB	30,5	29,6	25,4	25,4	30,5	30,5
AN	18,7	16,0	20,9	22,3	18,0	20,5
DI	1,6	-	-	-	-	-
HY	5,8	5,7	9,7	10,0	4,7	6,0
HM	4,6	3,8	6,0	6,0	3,7	4,5
RU	-	0,1	0,4	0,4	0,1	0,3
TN	1,5	0,9	1,0	1,1	0,6	0,6
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)						
QUARTZ	22,5	28,3	28,0	26,5	31,4	28,7
ORTHOCLASE	14,3	16,1	4,5	3,5	9,4	6,7
PLAGIOCLASE	47,3	42,2	44,2	46,1	47,2	49,5
ORTHOPYROXENE	-	-	-	0,1	-	-
AMPHIBOLE	9,3	3,2	3,9	4,1	2,3	2,4
BIOTITE	5,3	9,2	10,2	18,5	8,9	11,8
TITANITE	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
MAGNETITE	0,9	0,8	1,1	1,1	0,7	0,9
ILMENITE	0,1	-	-	-	-	-
COLOUR INDEX	15,9	13,3	23,3	23,9	12,0	15,1
Q COORDINATES	26,7	32,7	36,5	34,8	35,7	33,8
A STRECKEISEN	17,0	18,6	5,8	4,6	10,7	7,9
P DOUBLE-	56,3	48,7	57,6	60,6	53,6	58,3
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1,8	1,8	1,4	1,5	1,3	1,4
TAU RITTMANN	20,0	23,2	15,3	15,8	28,5	24,2

TAB. 7. PLUTONITE ECUADOR - GRUPPE III: E-KORDILLERE/ GRABEN

MAJOR ELEMENTS	II-44	II-47	II-48	II-49	II-56
SIO2	60,90	69,80	67,10	71,50	67,70
AL2O3	16,80	15,20	14,50	13,90	18,20
FE2O3	5,60	3,00	1,40	3,00	2,10
FEO	-	-	2,14	-	-
MNO	-	-	0,08	-	-
MGO	3,20	1,90	2,10	1,30	1,20
CAO	5,30	3,30	4,20	2,60	3,90
NA2O	3,60	2,30	4,20	3,90	4,50
K2O	2,00	1,90	1,80	2,70	1,50
TIO2	0,70	0,50	0,60	0,30	0,30
P2O5	-	-	0,17	-	-
CO2	-	-	0,09	-	-
H2O	0,90	1,10	0,90	0,80	1,00
TOTAL	99,00	99,00	99,28	100,00	100,40

CIPW NORM

Q	16,7	39,2	24,3	31,1	25,6
OR	11,8	11,2	10,6	16,0	8,9
AB	30,5	19,5	35,5	33,0	38,1
AN	23,8	16,4	19,4	12,4	19,3
DI	0,1	-	3,0	-	-
HY	7,9	4,7	5,7	3,2	3,0
MT	-	-	2,0	-	-
HM	5,6	3,0	-	3,0	2,1
IL	-	-	1,1	-	-
RU	-	0,5	-	0,2	0,3
TN	1,7	-	-	0,3	-
AP	-	-	0,4	-	-
C	-	3,4	-	-	2,1
CC	-	-	0,2	-	-

RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)

QUARTZ	21,2	39,5	26,6	33,5	25,3
ORTHOCLASE	5,1	8,6	9,2	14,5	5,6
PLAGIOCLASE	53,7	35,4	50,7	43,4	58,8
AMPHIBOLE	6,2	-	8,0	1,3	-
BIOTITE	12,5	7,0	3,7	6,7	4,6
CORDIERITE	-	8,9	-	-	5,3
TITANITE	0,2	-	0,4	-	-
MAGNETITE	1,1	0,3	0,8	0,6	0,3
ILMENITE	-	0,3	0,1	-	0,1
APATITE	-	-	0,3	-	-
CALCITE	-	-	0,2	-	-
COLOUR INDEX	20,0	16,5	13,6	8,6	10,3
Q COORDINATES	26,5	47,3	30,8	36,6	28,2
A STRECKEISEN	6,3	10,4	10,6	15,9	6,2
P DOUBLE-	67,2	42,4	58,6	47,5	65,6
F TRIANGLE	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1,8	0,7	1,5	1,5	1,5
TAU RITTMANN	18,9	25,8	13,4	33,3	45,7

TAB. 8. PLUTONITE ECUADOR - GRUPPE III: W-KORDILLERE

MAJOR ELEMENTS	III-59	B	C	D	III-61	III-62	III-65
SIO2	65,37	69,40	51,70	60,50	55,30	66,66	62,21
AL2O3	16,73	14,90	17,70	12,60	17,39	15,17	14,60
FE2O3	2,57	2,28	10,83	13,83	3,56	1,82	3,23
FEO	2,01	-	-	-	4,12	2,57	4,57
MNO	0,07	-	-	-	0,16	0,06	0,16
MGO	2,10	1,03	3,09	1,91	4,16	2,07	3,07
CAO	4,69	3,16	7,50	3,35	8,60	4,48	5,79
NA2O	3,82	4,29	4,42	4,42	3,13	3,37	3,04
K2O	1,70	1,79	1,10	0,78	0,90	1,49	0,59
TIO2	0,41	0,21	0,58	0,56	0,78	0,44	0,55
P2O5	0,13	0,09	0,14	0,19	0,18	0,06	0,08
CO2	0,04	-	-	-	0,08	0,05	0,04
H2O	0,76	-	-	-	1,29	0,94	1,28
TOTAL	100,40	97,15	97,06	98,14	99,65	99,18	99,21
CIPW NORM							
Q	23,5	29,5	3,9	23,0	10,3	27,8	24,0
OR	10,0	10,6	6,5	4,6	5,3	8,8	3,5
AB	32,3	36,3	37,4	37,4	26,5	28,5	25,7
AN	22,2	15,1	25,2	12,2	30,7	21,5	24,5
DI	-	-	7,1	0,9	8,2	-	2,9
HY	6,3	2,6	4,4	4,3	10,1	7,8	11,4
MT	3,7	-	-	-	5,2	2,6	4,7
HM	-	2,3	10,8	13,8	-	-	-
IL	0,8	-	-	-	1,5	0,8	1,0
RU	-	0,2	-	-	-	-	-
TN	-	-	1,4	1,4	-	-	-
AP	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,1	0,2
C	0,5	0,4	-	-	-	0,1	-
CC	0,1	-	-	-	0,2	0,1	0,1
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)							
QUARTZ	27,9	32,2	3,6	20,2	12,4	33,7	25,3
ORTHOCLASE	1,2	7,0	5,5	2,5	3,4	0,4	1,7
PLAGIOCLASE	55,5	53,2	62,5	55,4	55,3	51,2	53,1
ORTHOPYROXENE	-	-	-	8,8	-	-	7,7
AMPHIBOLE	-	-	25,0	8,0	25,0	-	8,7
BIOTITE	14,5	7,1	-	1,1	1,2	13,9	1,3
TITANITE	-	-	0,6	0,2	0,7	-	0,2
MAGNETITE	0,6	0,3	2,5	3,1	1,4	0,5	1,4
ILMENITE	-	-	-	0,4	-	-	0,3
APATITE	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,1	0,2
CALCITE	0,1	-	-	-	0,2	0,1	0,1
COLOUR INDEX	15,5	7,6	28,4	21,9	28,9	14,7	19,9
Q COORDINATES	32,9	34,9	5,0	25,9	17,5	39,5	31,6
A STRECKEISEN	1,4	7,5	7,7	3,2	4,7	0,4	2,2
P DOUBLE-	65,6	57,6	87,3	71,0	77,8	60,1	66,3
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1,4	1,4	3,5	1,5	1,3	1,0	0,7
TAU RITTMANN	23,9	35,4	18,4	10,9	14,9	23,6	18,3

TAB. 8. PLUTONITE ECUADOR - GRUPPE III: W-KORDILLERE

MAJOR ELEMENTS	III-66	III-67	III-68	III-70	E	III-73	III-74
SIO2	69,74	65,76	52,02	65,66	64,50	75,96	67,80
AL2O3	14,37	16,52	19,07	15,66	16,24	13,10	15,40
FE2O3	2,22	2,49	4,99	2,39	2,08	0,23	3,20
FEO	1,22	2,33	4,91	3,08	2,99	0,84	-
MNO	0,04	0,10	0,15	0,11	0,11	0,02	-
MGO	1,56	1,98	4,29	2,34	2,34	0,30	1,60
CAO	2,93	5,25	9,42	5,52	5,97	1,02	3,70
NA2O	3,58	3,86	1,86	3,13	3,02	3,02	4,00
K2O	2,94	1,11	0,49	1,38	1,30	4,76	1,90
TIO2	0,36	0,42	0,59	0,44	0,44	0,16	0,50
P2O5	0,07	0,12	0,02	0,06	0,04	0,02	-
CO2	0,02	0,03	0,01	0,01	0,11	0,05	-
H2O	0,82	0,69	1,42	0,96	0,95	0,40	1,00
TOTAL	99,87	100,66	99,24	100,74	100,09	99,88	99,10
CIPW NORM							
Q	29,3	24,6	11,8	26,1	25,0	37,2	26,9
OR	17,4	6,6	2,9	8,2	7,7	28,1	11,2
AB	30,3	32,7	15,7	26,5	25,6	25,6	33,8
AN	14,0	24,8	42,2	24,6	26,9	4,6	18,4
DI	-	0,5	3,5	1,9	1,4	-	-
HY	3,9	6,4	13,2	8,1	8,4	1,9	4,0
MT	3,0	3,6	7,2	3,5	3,0	0,3	-
HM	0,1	-	-	-	-	-	3,2
IL	0,7	0,8	1,1	0,8	0,8	0,3	-
RU	-	-	-	-	-	-	0,5
AP	0,2	0,3	0,0	0,1	0,1	0,0	-
C	0,2	-	-	-	-	1,3	0,0
CC	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1	-
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)							
QUARTZ	32,5	26,3	11,4	29,8	28,8	36,3	30,7
ORTHOCLASE	13,8	2,5	0,8	2,7	2,6	36,4	5,8
PLAGIOCLASE	42,8	59,0	60,8	50,6	52,7	22,5	53,5
ORTHOPYROXENE	-	3,9	11,7	0,9	1,8	-	-
AMPHIBOLE	-	1,6	11,3	5,8	4,4	-	-
BIOTITE	10,2	5,1	2,1	8,9	8,3	0,4	9,5
CORDIERITE	-	-	-	-	-	3,9	-
TITANITE	-	-	0,2	0,1	0,1	-	-
MAGNETITE	0,5	1,0	1,4	1,0	0,9	0,2	0,4
ILMENITE	-	0,2	0,3	-	-	0,1	0,1
APATITE	0,1	0,2	-	0,1	0,1	-	-
CALCITE	-	0,1	-	-	0,3	0,1	-
COLOUR INDEX	10,9	12,2	27,1	16,9	15,9	4,8	9,9
Q COORDINATES	36,5	30,0	15,6	35,9	34,3	38,1	34,1
A STRECKEISEN	15,5	2,9	1,0	3,3	3,1	38,3	6,5
P DOUBLE-	48,0	67,2	83,4	60,8	62,7	23,6	59,5
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1,6	1,1	0,6	0,9	0,9	1,8	1,4
TAU RITTMANN	25,1	23,4	28,2	25,1	27,5	56,0	22,8

TAB. 9. PLUTONITE ECUADOR - GRUPPE IV: KUESTENGEBIET

MAJOR ELEMENTS	IV-77	IV-78	IV-79
SIO2	55,28	53,64	66,91
AL2O3	18,31	16,22	13,91
FE2O3	2,37	4,16	1,94
FEO	4,97	5,06	3,44
MNO	0,15	0,17	0,05
MGO	2,73	3,91	1,90
CAO	7,15	7,22	4,20
NA2O	3,63	3,55	4,02
K2O	1,38	1,70	0,79
TIO2	0,65	0,70	0,27
P2O5	0,27	0,20	0,06
CO2	0,11	0,11	0,06
H2O	2,21	1,52	1,50
TOTAL	99,21	98,16	99,05
CIPW NORM			
Q	8,4	6,0	27,6
OR	8,2	10,0	4,7
AB	30,7	30,0	34,0
AN	29,6	23,3	17,8
DI	2,8	8,5	2,1
HY	11,8	10,6	8,1
MT	3,4	6,0	2,8
IL	1,2	1,3	0,5
AP	0,6	0,5	0,1
CC	0,3	0,3	0,1
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)			
QUARTZ	13,1	8,5	29,7
ORTHOCLASE	3,1	9,8	2,5
PLAGIOCLASE	62,2	51,5	54,7
ORTHOPYROXENE	2,1	-	3,6
AMPHIBOLE	8,5	26,5	6,2
BIOTITE	8,3	0,3	1,8
TITANITE	0,3	0,7	0,1
MAGNETITE	1,6	2,1	1,2
ILMENITE	0,1	-	0,1
APATITE	0,6	0,4	0,1
CALCITE	0,3	0,3	0,1
COLOUR INDEX	21,7	30,3	13,2
Q COORDINATES	16,7	12,2	34,2
A STRECKEISEN	3,9	14,0	2,8
P DOUBLE-	79,4	73,8	63,0
F TRIANGLE	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,0	2,6	1,0
TAU RITTMANN	16,0	14,1	30,0

Trägt man im CI/SiO_2-Diagramm (Abb. 31) die Farbzahl CI gegen den SiO_2-Gehalt für die wichtigsten Gesteinstypen auf, so zeigt sich mit ansteigendem SiO_2 eine ziemlich regelmässige Abnahme vom CI. Bis auf einige Überschneidungen zwischen den Granodioriten und den Tonalithen lassen sich hiermit die einzelnen Gesteinstypen Ecuadors gut voneinander trennen.

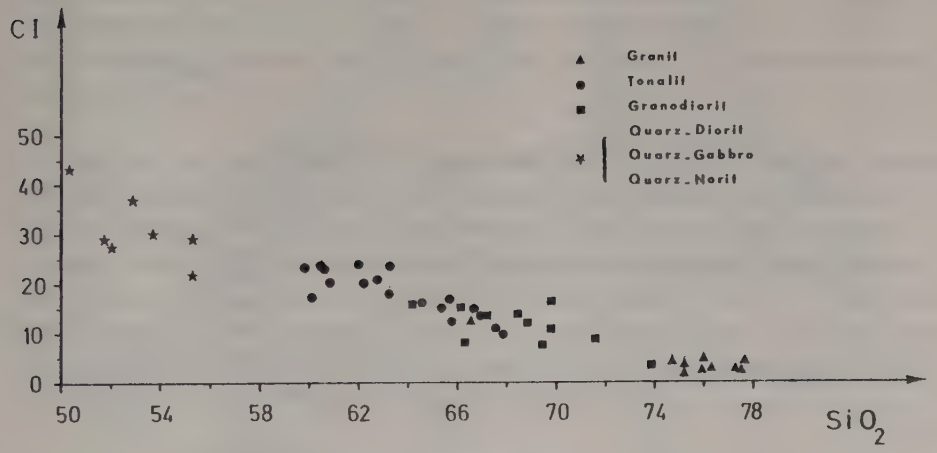


Abb. 31: Das Verhältnis von Farbzahl (CI) zum SiO_2-Gehalt (in Gew.-% der Analyse) ecuadorischer Plutonite.

Ein recht klares Bild von der Verteilung der ecuadorischen Plutonite ersieht man aus ihrer Lage im QAPF-Doppeldreieck (Abb. 32). Auffällig ist die Häufung der Punkte im Feld 4 und 5 der Granodiorite und Tonalite. Das Feld der Granite und Alkaligranite wird, von zwei Ausnahmen abgesehen, nur von den Plutoniten des Oriente, also des am meisten landeinwärts gelegenen Teils von Ecuador belegt. Insgesamt erstrecken sich die Oriente-Gesteine quer über den oberen Teil des Doppeldreieckes und zeigen damit den typischen Verlauf von kontinentalen magmatischen Orogen-Gesteinen. Ein ganz anderer Trend ist dagegen bei den Gesteinen der übrigen drei Gebiete zu beobachten. Hier verläuft die Entwicklung viel steiler auf der rechten Seite in Richtung der Q-Spitze. Der Kalifeldspat A wird hier viel stärker vom Plagioklas P verdrängt.

Eine solche Verteilung mit einer Konzentration auf der rechten Seite des QAPF-Doppeldreieckes ist typisch für Inselbogen-Gesteine. Am ausgeprägtesten ist dieser Inselbogen-Trend bei den Gesteinen der Küsten-Region und denen der W-Kordillere, dagegen lässt sich bei der E-Kordillere schon ein gewisser Einfluß der kontinentalen Kruste feststellen durch ein Umschwenken in das Granodiorit-Feld.

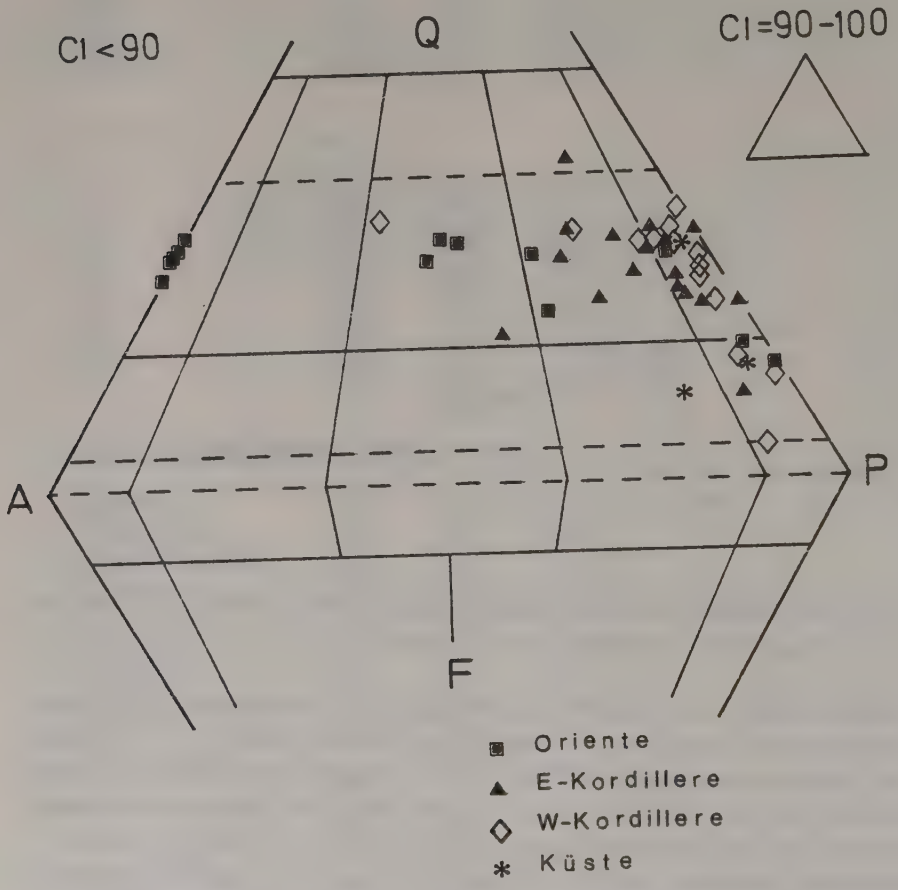


Abb. 32: Die Lage der analysierten ecuadorischen Plutonit-Proben im QAPF-Doppeldreieck.

Die Zunahme des Kalifeldspat-Gehaltes von W nach E, also von der Küste zum Amazonasbecken hin, wie sie im Doppeldreieck zu beobachten ist, kommt auch im K_2O/SiO_2-Diagramm (Abb. 33) deutlich zum Ausdruck. Die niedrigsten K_2O-Werte unter 1% sind im Westen zu beobachten; die Plutonite aus dem Oriente dagegen bieten mit ihren hohen K_2O- und SiO_2- Werten von 3,5 - 5 bzw. 73 - 77% ein völlig anderes Bild. Eine Verwandtschaft mit den übrigen drei Gebieten lässt sich nicht feststellen, die Herkunft und Entwicklung dieser plutonischen Gesteine muß eine ganz andere sein. Die einzige Gemeinsamkeit der ecuadorischen Plutonite ist ihr kalkalkaliner Sippencharakter, wie das Alk/SiO_2-Diagramm (Abb. 34), das $\log\tau/\log\sigma$-Diagramm (Abb. 35) und das AFM-Dreieck (Abb. 36) deutlich zeigen. Die Entstehung der sauren granitischen Schmelzen des Oriente kann man durch Krusten-Aufschmelzung erklären.

Die in Tab. 10 angegebenen Durchschnitts-Analysen von Plutonit-Proben aus dem Oriente, der E- und der W-Kordillere zeigen, daß die Plutonit-Körper Ecuadors deutliche Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung aufweisen. Besonders verblüffend ist dabei die regelmässige Änderung von Nord nach Süd und von Ost nach West (Abb. 37). So finden wir, abgesehen vom Oriente, in der E- und W-Kordillere im Norden die basischsten und im Süden die sauersten Gesteine und dementsprechend im Norden auch die höchsten Fe-, Mg- und Ca-Werte.

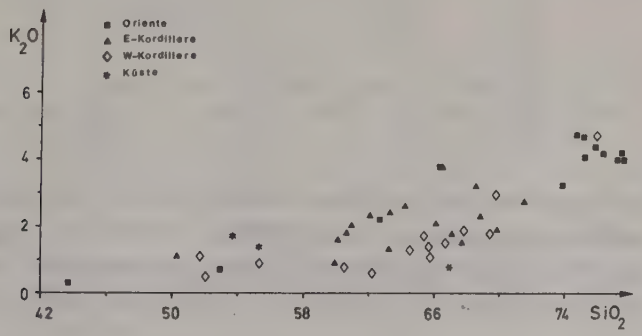


Abb. 33: K_2O-/SiO_2-Diagramm der analysierten ecuadorischen Plutonite.

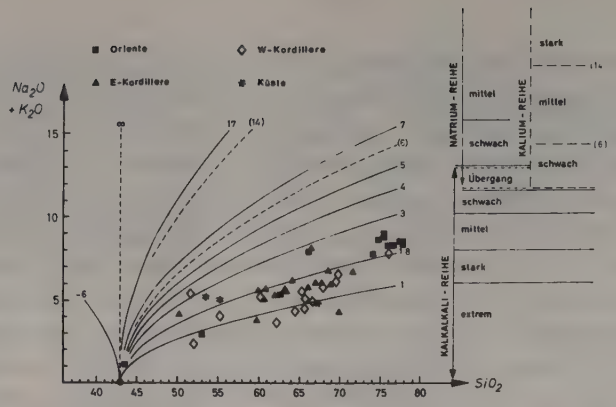


Abb. 34: Die Lage der analysierten ecuadorischen Plutonite im Sippenindex-Diagramm.

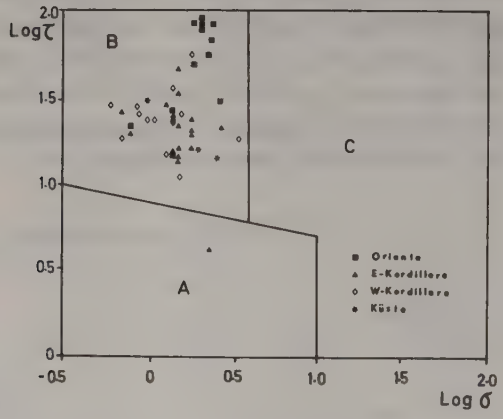


Abb. 35: Die Lage der analysierten ecuadorischen Plutonite im $\log\tau$-/$\log\sigma$-Diagramm nach RITTMANN (1973). A = Magmatite nicht-orogener Gebiete, B = Magmatite orogener Gebiete und Inselbögen, C = alkaline magmatische Differentiate.

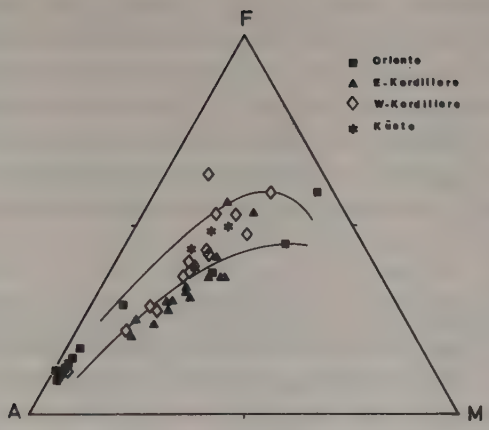


Abb. 36: Die Lage der analysierten ecuadorischen Plutonite im AFM-Dreieck. Das Feld zwischen den beiden Kurven umfaßt die "hypersthenic rock series" von KUNO.

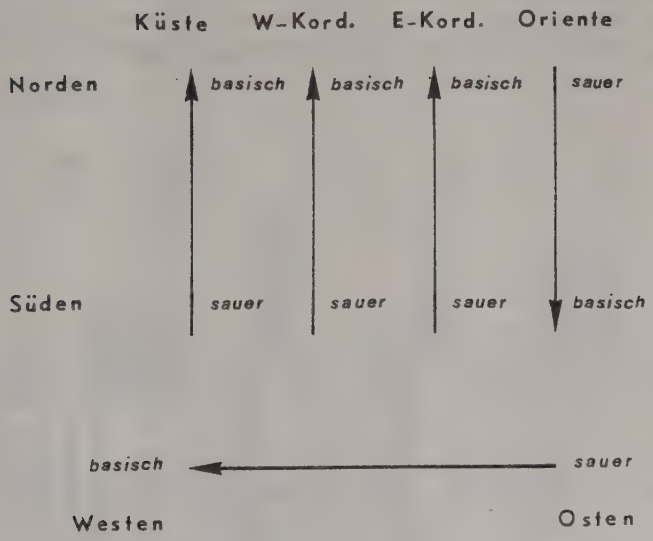


Abb. 37: Die Veränderung der chemischen Zusammensetzung der ecuadorischen Plutonite von Süd nach Nord und von Ost nach West.

Tab. 10: Durchschnitts-Analysen der untersuchten Plutonit-Proben von Ecuador. Nördlicher Teil = 1°N - 1°S-Breite, Zentraler Teil = 1 - 2°S-Breite, Südlicher Teil = 2 - 5°S-Breite.

	SiO_2	Al_2O_3	$Fe_2O_3^*$	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2
Oriente								
- Nördl. und Zentraler Teil	75.0	13.3	1.6	0.3	1.0	4.2	4.1	0.1
- Südl. Teil	53.1	16.4	9.9	6.1	8.6	2.0	1.1	0.7
E-Kordillere								
- Nördl. Teil	60.1	16.2	7.0	3.0	5.7	3.6	1.8	1.1
- Zentraler Teil	64.1	15.6	4.9	2.9	4.4	3.4	2.4	0.6
- Südl. Teil	69.0	15.5	3.0	1.6	3.5	3.7	2.0	0.4
W-Kordillere								
- Nördl. Teil	60.5	15.9	8.0	2.5	5.5	4.0	1.3	0.5
- Zentraler Teil	63.8	15.9	6.8	2.5	5.6	3.1	1.3	0.5
- Südl. Teil	71.9	14.3	2.2	1.0	2.4	3.5	3.3	0.3
Gesamt-Durchschnitt								
- Oriente	69.9	14.0	3.5	1.6	2.8	3.7	3.4	0.3
- E-Kordillere	64.1	15.8	5.2	2.6	4.6	3.5	2.1	0.7
- W-Kordillere	63.8	15.7	6.3	2.3	5.1	3.5	1.6	0.5
- Küste	58.6	16.1	7.8	2.8	6.2	3.7	1.3	0.5

Umgekehrt verhält sich das K_2O, das im Süden die höchsten Werte (bis zu 3,3% im Mittel) erreicht. Erstaunlich sind die Unterschiede im Oriente, wo im Norden die sauren granitischen Gesteine mit hohen SiO_2- und Alkalien-Werten von 75 bzw. 8,3% im Mittel, im Süden dagegen teilweise sehr basische Plutonite mit einer gänzlich anderen mineralogisch-chemischen Zusammensetzung vorkommen. Hier sinkt das SiO_2 im Mittel um über 20%, die Alkali-Werte mit 3,1% sogar fast auf ein Drittel.

Die chemische Änderung der plutonischen Gesteine vom Landesinneren zur Küste hin kommt bei den Gesamt-Durchschnitten in Tab. 10 und in Abb. 38 bei der Häufigkeitsverteilung von SiO_2 mit einer Verschiebung der Maxima vom Oriente zur Küste hin zu immer geringeren Werten deutlich zum Vorschein. Von Ost nach West werden die Plutonite immer basischer und ihr K_2O-Gehalt nimmt immer mehr und ziemlich gleichmässig ab von 3,4% im Osten bis auf 1,3% im Westen an der Küste. Analog dazu sinkt auch der SiO_2-Gehalt um überdurchschnittlich 10%, nämlich von 69,9% im Oriente auf 58,6% an der Küste. Das heißt, der Trend zum Inselbogen-Typus, wie es auch das QAPF-Doppeldreieck zeigt (Abb. 32), wird zur Küste hin immer stärker. Man muß also annehmen, daß in spätkretazischer Zeit vor der weiter im Osten gelegenen Küste Südamerikas ein Inselbogen bestand, der im Tertiär an den Kontinent angeschweisst wurde.

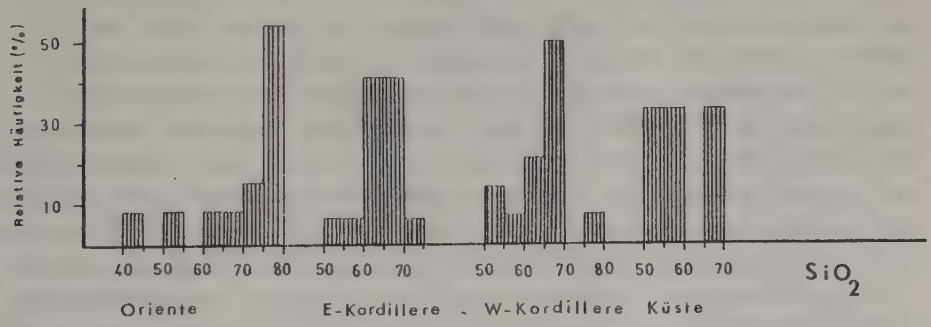


Abb. 38: Häufigkeits-Verteilung von SiO_2 (in Gew.-%) der analysierten ecuadorischen Plutonite.

Auf jeden Fall kann aus den Durchschnitts-Analysen der Tab. 10 und aus dem daraus folgernden vereinfachten Schema der Abb. 37 deutlich gezeigt werden, daß wir nicht nur eine regelmässige Variation von Ost nach West zu immer ausgeprägteren Inselbogen-Gesteinen vorliegen haben, sondern daß auch gleichzeitig im Bereich der plutonischen (und vulkanischen) Komplexe der Küste, der W- und der E-Kordillere jeweils die Gesteine von Süd nach Nord immer basischer werden. Gerade entgegengesetzt verhalten sich die Gesteine des Oriente: Sie werden nach Süden zu basischer, was auf eine ganz andere Entstehung schliessen lässt. Für die Entstehung dieser Gesteine kann man eine Aufschmelzung der Kruste annehmen, wogegen die Schmelzen der übrigen Gebiete sehr wahrscheinlich im Bereich einer abtauchenden Platte entstanden sind.

Besonders interessant und erst in jüngster Zeit erkannt (PICHLER & HÖRMANN, unveröff.), ist ein Vergleich der plutonischen Gesteine Ecuadors mit den sie umgebenden, etwa gleich alten Vulkaniten des sogenannten Basic Igneous Complex (BIC; s. dazu Kap. 4). Auch deren Verteilung im QAPF-Doppeldreieck (Abb. 39) zeigt eine ähnliche Anordnung mit einer Häufung in den Feldern 5 und 10*, eine Anordnung, wie sie für typische Inselbogen-Gesteine mit sehr niedrigen K_2O-Gehalten kennzeichnend ist [+].

Noch deutlicher kann man den genetischen Zusammenhang zwischen den BIC-Vulkaniten und den Plutoniten Ecuadors aufzeigen, wenn man im QAPF-Doppeldreieck (Abb. 39) die Verteilung der Plutonite und die jeweils im gleichen Gebiet vorkommenden BIC-Vulkanite betrachtet. So ist z.B. die Vulkanit- und die Plutonit-Probe aus der Gegend von Pascuales (südlicher Küstenbereich) mineralogisch fast identisch; und auch in den anderen drei hier gezeigten Gebieten liegen die Punkte der Plutonit-Analysen immer in der Nähe der entsprechenden BIC-Vulkanite. Damit ist petrologisch bewiesen, daß die BIC-Vulkanite und die in sie intrudierten Tiefengesteins-Körper genetisch zusammengehören, also gleiche Bildungen , nur in unterschiedlicher Fazies, sind, nämlich BIC-Vulkanite bzw. BIC-Plutonite.

+) Die Daten der BIC-Vulkanite stammen von GOOSSENS und ROSE (1973), PICHLER et al. (1974), HERBERT (1977), GOOSSENS et al. (1977), HENDERSON (1979), KEHRER und KAADEN (1979).

Mit grosser Wahrscheinlichkeit sind diese Plutonite nur in geringer Tiefe erstarrt und stellen mehr eine Subvulkanit- als eine Plutonit--Fazies des Basic Igneous Complex dar. Hinweise darauf geben die stark zonierten Plagioklase, die sich nur bilden können, wenn die Bildungsbedingungen (Druck und Temperatur) schwanken. Nur in einem seichten Niveau (maximal einige km) sind solche raschen Schwankungen möglich.

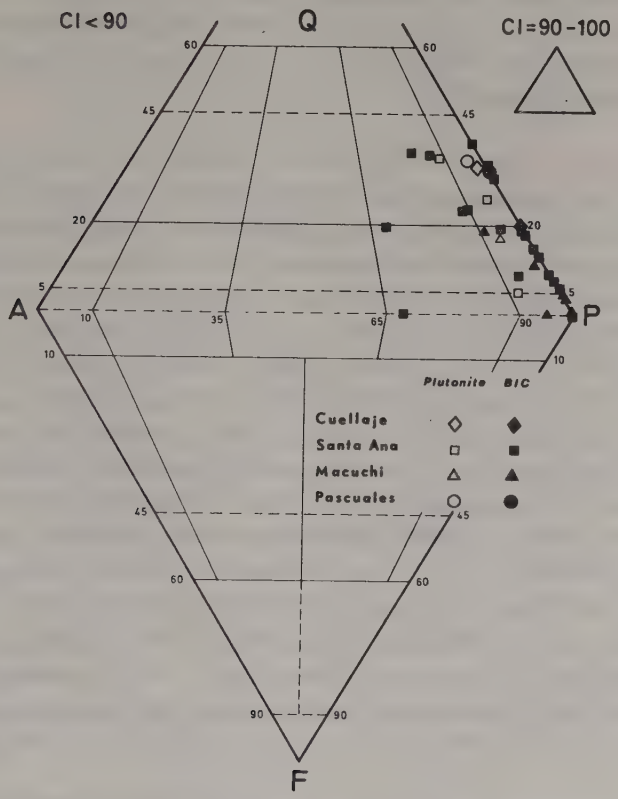


Abb. 39: Die Lage analysierter BIC-Plutonite und ihrer vulkanischen Nebengesteine im Bereich der W-Kordillere (Cuellaje, Santa Ana und Macuchi) und des Küstengebietes (Pascuales).

3.2. Gesteinsanalysen - Spurenelemente

Mittels der Röntgenfluoreszenz-Methode konnten im Geochemischen Zentrallabor des Mineralogisch-Petrographischen Institutes der Universität Tübingen (Leiter Prof. Dr. H. FRIEDRICHSEN) die Werte (in ppm) für Rb, Sr, Ni, Cr, Y und Zr von insgesamt 12 Plutonit-Proben des Oriente, 14 der E-Kordillere und 3 der W-Kordillere Ecuadors bestimmt werden. Am Geochemischen Labor des Mineralogisch-Petrographischen Instituts der Universität Kiel (Leiter Prof. Dr. P. K. HÖRMANN) wurden an insgesamt fünf Proben eine Th-, zwei Ni-, Cr-, Sr-, V-, Co-, Cu-, drei Li- und fünf Rb-Bestimmungen durchgeführt. Sowohl die in Tübingen als in Kiel gemessenen Werte sind in Tab. 11 zusammengestellt.

Um eine Übersicht über die abgedruckten Daten der Tab. 11 zu erhalten, wurden für die einzelnen Gebiete Durchschnitte gebildet (Tab. 12) sowie in mehreren Abbildungen die Spurenwerte diagrammatisch gegen SiO_2, K und den An-Gehalt aufgetragen. Bei den Gesamt-Durchschnitten ergeben sich außer für Sr und Cr und eingeschränkt für Rb keine signifikaten Unterschiede zwischen Oriente, der E- und der W-Kordillere. Mit einem Mittel von 144 ppm Sr liegen die vorwiegend granitischen Gesteine des Oriente um über die Hälfte niedriger als die grösstenteils granodioritischen bis tonalitischen Kordilleren-Plutonite mit Werten von 361 und 306 ppm Sr. Diese Durchschnittsgehalte stimmen teilweise recht gut mit den Angaben überein, die in WEDEPOHL (1978, II-4, S. 38-E-4/5) für entsprechende nordamerikanische Gesteine stehen. Für quarz-dioritische bis tonalitische Gesteine werden Durchschnitte von 394 ppm und für Granite solche von 150 ppm Sr angegeben. Für Granodiorite bewegen sich allerdings die Sr-Werte für die U.S.A. und Kanada Zwischen 460 und 1100 ppm mit einem Mittel bei 659, wogegen sie für die untersuchten Gesteine der ecuadorischen Anden nur in drei Fällen über 460 ppm, in der überwiegenden Zahl sogar unter 300 ppm liegen.

Im Rb/SiO_2-Diagramm (Abb. 40) ist eine allmähliche Zunahme des Rb-Gehaltes mit steigendem SiO_2-Wert zu beobachten, wobei die höchsten Werte, bis zu 214 ppm Rb, im Oriente erreicht werden. Trägt man K gegen Rb auf (Abb. 41), so sieht man, daß die K/Rb-Verhältnisse insgesamt nur recht wenig um einen mittleren Wert von etwa 300 schwanken.

Tab. 11: Spurenelement-Analysen (in ppm) von plutonischen Gesteinen Ecuadors. I = Plutonite des Oriente, II = der E-Kordillere, III = der W-Kordillere.

Proben-Nr.	Zr	Y	Sr	Rb	Ni	Cr
I-1	199.7	9.0	233.9	82.8	7.2	0.0
I-2	174.4	7.7	155.4	119.5	7.7	0.0
I-3	172.2	7.5	52.0	106.0	14.0	0.0
I-5[1]	-	-	91.0	214.0	5.0	1.0
I-6	227.4	18.7	326.5	90.3	8.0	0.0
I-8	166.9	9.5	67.1	112.4	12.3	6.7
I-11[2]	-	-	41.0	114.0	3.0	3.0
I-12	148.2	3.5	26.1	143.1	10.3	0.0
I-13	172.1	8.5	46.4	103.0	4.8	0.0
I-17	125.8	16.1	224.7	14.4	21.7	87.0
I-19	173.7	22.1	252.6	70.5	7.9	10.6
I-21	102.3	20.6	214.2	13.0	3.0	54.3
II-23	220.2	18.2	571.2	30.6	18.2	12.4
II-24	197.1	22.6	396.1	50.0	15.0	24.0
II-25	165.1	12.3	530.4	11.5	45.5	72.9
II-28[3]	-	-	-	26.6	-	-
II-29[4]	-	-	-	47.7	-	-
II-32	253.4	15.2	499.2	112.1	44.2	32.3
II-33	186.3	17.7	277.4	86.6	5.8	16.7
II-35	195.7	18.5	227.0	113.1	27.5	42.5
II-37	196.0	21.7	290.8	75.9	31.6	60.5
II-38	200.8	20.9	297.0	66.0	39.0	68.0
II-40	189.5	13.3	297.4	65.2	11.4	2.6
II-41	186.3	15.5	339.3	55.7	10.6	15.0
II-44	209.6	17.3	402.3	50.4	17.7	20.7
II-47	225.5	8.4	441.8	55.2	15.6	11.1
II-48[5]	-	-	-	66.1	-	-
II-49	195.2	18.3	121.5	103.9	14.9	15.4
II-56	176.6	6.6	356.2	50.7	20.7	0.0
III-68	116.4	15.0	242.3	10.5	0.8	20.0
III-74	229.0	11.5	421.6	66.3	18.0	27.3
III-76	114.5	9.9	252.9	4.5	-	-

1) Enthält ausserdem V 8, Co 1, Cu 29 und Th 19 ppm.
2) " " V 1., Co 1 und Cu 6 ppm.
3) " " Li 5.3 ppm.
4) " " Li 7.3 ppm.
5) " " Li 18.7 ppm.

Tab. 12: Durchschnitts-Gehalte (in ppm) der wichtigsten Spurenelemente der untersuchten Plutonit-Proben von Ecuador. Nördlicher Teil = 1°N - 1°S-Breite, Zentraler Teil = 1 - 2°S-Breite, Südlicher Teil = 2 - 5°S-Breite. Anzahl der Analysen in Klammern

	Oriente			E-Kordillere				W-Kordillere
	Nördl. u. Zentr. Teil (9)	Südl. Teil (3)	Gesamt-Durchschn. (12)	Nördl. Teil (4)	Zentr.Teil (7)	Südl.Teil (3)	Gesamt-Durchschn. (14)	(3)
Rb	121	33	99	46	73	69	63	27
Sr	115	231	144	499	304	307	361	306
Ni	8	11	9	31	21	17	23	9
Cr	1	51	14	35	32	9	28	24
Y	9	20	12	17	18	11	16	12
Zr	180	134	166	209	195	199	200	153
K/Rb	295	285	293	386	282	242	309	277

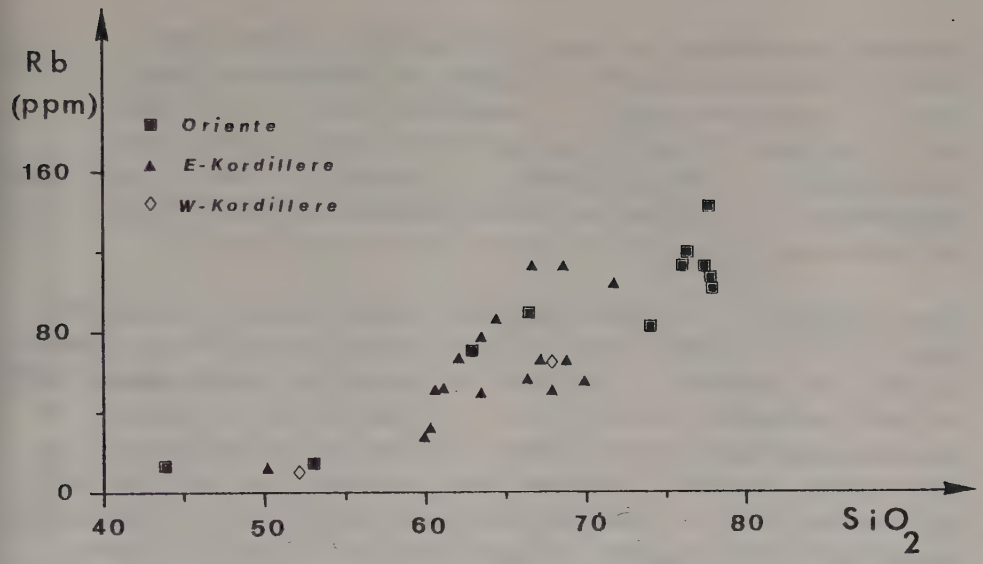


Abb. 40: Rb/SiO_2-Diagramm für die plutonischen Gesteine Ecuadors.

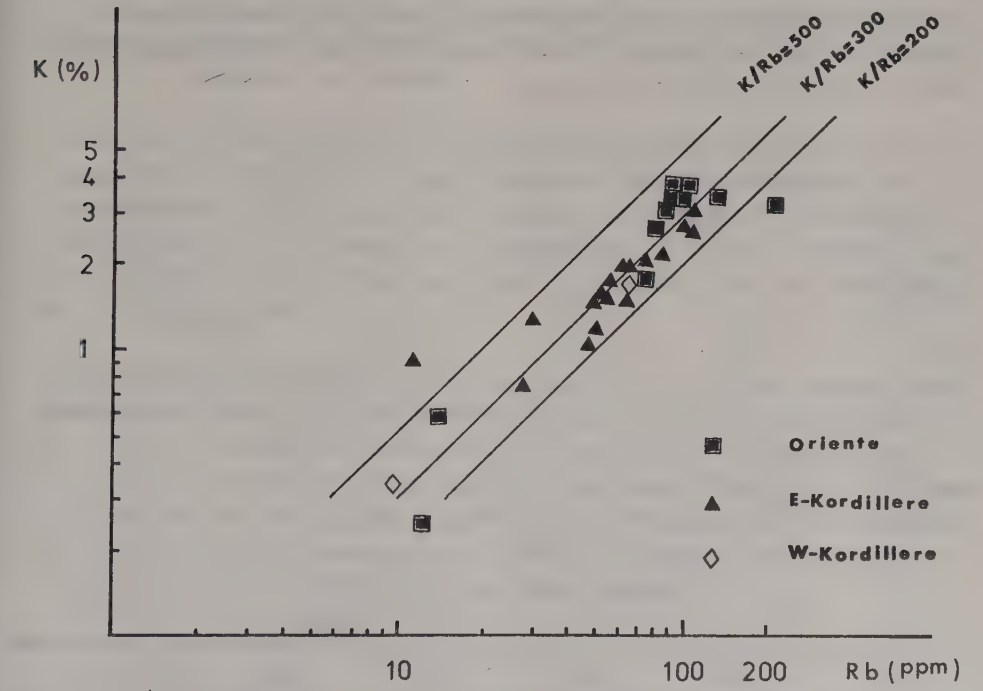


Abb. 41: K/Rb-Diagramm für die plutonischen Gesteine Ecuadors.

Je saurer ein Gestein ist, desto niedriger ist generell sein K/Rb-Verhältnis und umgekehrt. Im Falle der E-Kordillere haben wir z.B., wie schon in Kap. 3.1. ausgeführt wurde (s. dazu auch Tab. 10 und Abb. 37), im Norden mehr basische und im Süden mehr saure Gesteine. Tatsächlich nehmen die K/Rb-Werte im Mittel recht gleichmässig zu, vom Süden mit einem mittleren Wert von 242 über den zentralen Teil mit 282 zum Norden hin mit 386 (Tab. 12).

Genau umgekehrt wie das Rb verhält sich das Sr, wenn man es ebenfalls gegen das SiO_2 aufträgt (Abb. 42). Mit zunehmendem SiO_2-Gehalt sinken generell die Sr-Werte und erreichen für die sauren Granite des Oriente nur noch ppm-Gehalte zwischen 26 und 327. Da jedoch Sr, obwohl es im Ionenradius zwischen Ca und K steht, leichter in die Plagioklase eingebaut wird, sind diese niedrigen Werte verständlicher,denn die Plagioklas-Gehalte in den Graniten sind nicht so hoch wie in tonalitisch-granodioritischen Gesteinen. Die von EWART und TAYLOR (1969) angegebene maximale Sr-Konzentration zwischen An_{40-55} kann für die Plagioklase der ecuadorischen Plutonite bestätigt werden. Zudem sinkt mit abnehmendem An-Gehalt der Plagioklase (unter An_{50}) der Sr-Gehalt. Abb. 43 zeigt, vor allem für die Plagioklase der E-Kordillere Ecuadors, diese Korrelation deutlich.

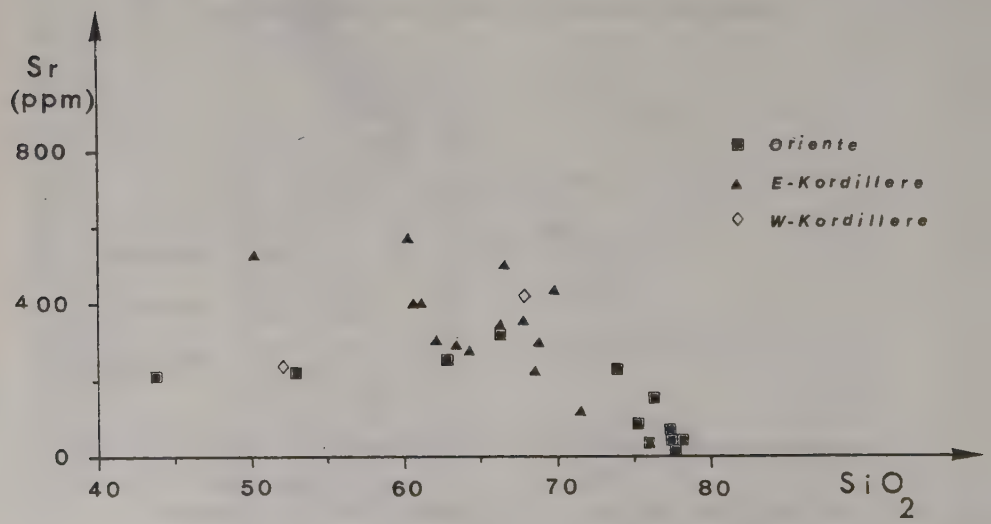


Abb. 42 : Sr/SiO_2-Diagramm für die plutonischen Gesteine Ecuadors.

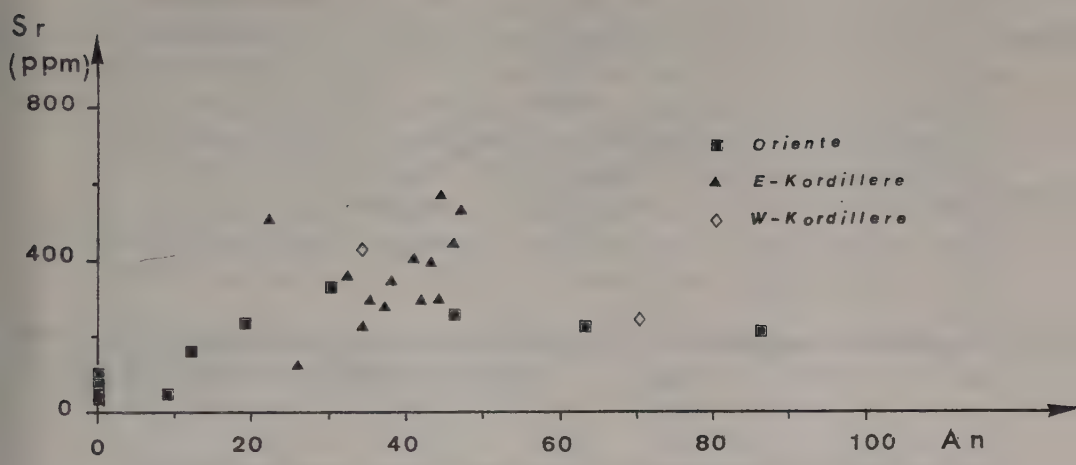


Abb. 43 : Sr gegen An-Gehalt der Plagioklase für die plutonischen Gesteine von Ecuador.

Sowohl das Zr/SiO_2- als auch das Y/SiO_2-Diagramm (Abb. 44 und 45) lassen zwei verschiedene Trends erkennen. Bei den basischen bis intermediären noritischen, dioritischen und gabbroiden Plutoniten steigen die Y- und Zr-Werte mit zunehmendem SiO_2 an, um dann ab etwa 60% SiO_2 wieder abzunehmen und bei den Graniten des Oriente den niedersten Wert zu erreichen.

Ähnliche Zr- und Y-Mittelwerte, wie sie in Tab. 12 für Ecuador angegegen sind, werden auch von WEDEPOHL (1978, II-4, S. 40-E-22 und II-5, S. 39, 57 - 71-E-13/14) für den "Southern California Batholith", U.S.A. mitgeteilt. Die Granodiorite und Tonalite haben durchschnittlich 140, die Granite 120 ppm Zr, für Y betragen sie 24.6 ppm für die Granodiorite, 21.5 für die Tonalite und 17.3 für die granitischen Gesteine, also auch hier keine allzu grossen Abweichungen.

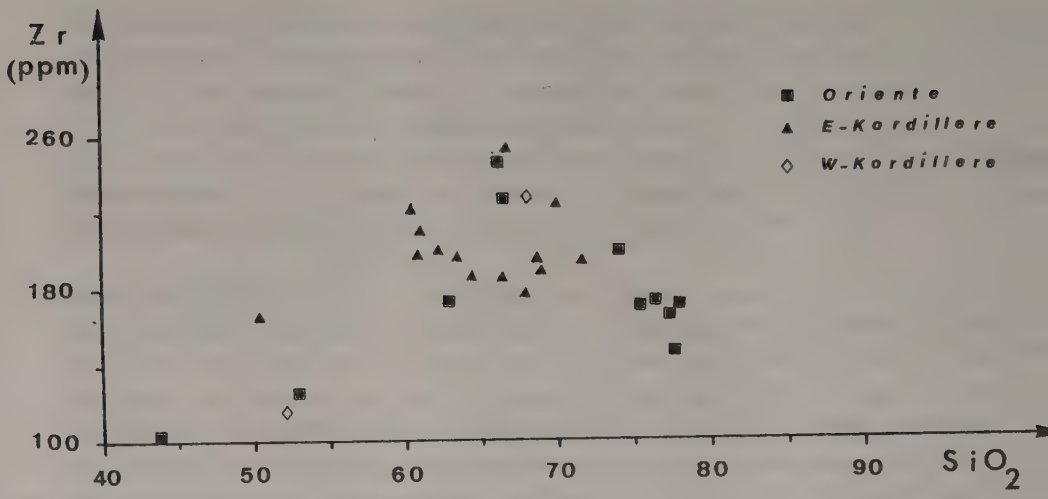


Abb. 44: Zr/SiO_2-Diagramm für die plutonischen Gesteine Ecuadors.

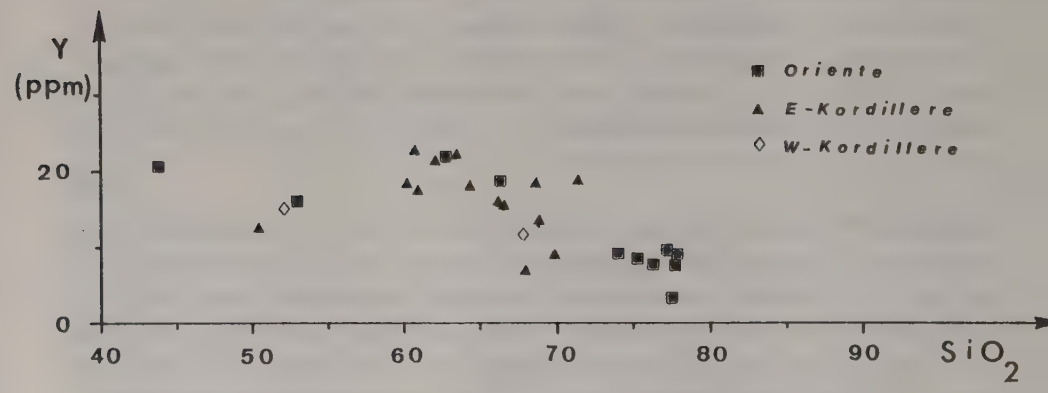


Abb. 45: Y/SiO_2-Diagramm für die plutonischen Gesteine Ecuadors.

Vergleicht man die Cr- und Ni-Mittelwerte der Tab. 12 der einzelnen Teile der E-Kordillere und des Oriente miteinander, so erkennt man sofort für den Oriente eine Zunahme der Gehalte von Nord nach Süd, für die E-Kordillere dagegen eine Abnahme. Auch die übrigen Elemente Rb, Sr, Y und Zr zeigen für diese beiden Gebiete jeweils diese gegenläufige Tendenz. Damit bestätigt sich auch hier die schon in Kap. 3.1. für die Hauptelemente getroffene Feststellung, daß 1. die Magmen des Oriente und der Kordilleren völlig verschiedenen Ursprungs sind, und daß 2. jeweils innerhalb dieser Gebiete sich der chemische Charakter der Gesteine ändert (im Oriente im N die sauren, im S die basischen Gesteine, in den Kordilleren ist es dann genau umgekehrt).

Die Spurenelemente liefern damit eine gute Bestätigung dieser schon früher getroffenen Feststellung.

3.3. Mineralanalysen

Von den wichtigsten gesteinsbildenden Mineralen wurden eine Reihe von Mikrosonden-Analysen ausgeführt. Im Folgenden wird die chemische Zusammensetzung der wichtigsten Minerale im einzelnen behandelt, zunächst die der Feldspäte, dann die der Biotit-Reihe und ihrer Umwandlungsprodukte (Chlorit-Gruppe), schliesslich die der Amphibol-Gruppe.

3.3.1. Feldspäte

Die Mikrosonden-Analysen und die daraus berechneten Mineralformeln sind in Tab. 13 zusammengestellt (Nr. 1a, 1b, 5a = Alkalifeldspäte, alle anderen = Plagioklase).

3.3.1.1. Alkalifeldspäte

Allgemeine Formel: $X_4Z_{16}O_{32}$ mit X = K, Na, Ca und Z = Si, Al, Ti. Die Z-Gruppe ändert sich von 16.0 bis 16.27 Atome pro Formeleinheit (A/FE). Den grössten Anteil an der Z-Gruppe hat Si; er liegt zwischen 11.8 und 12.1 A/FE. Al hat 4.1 bis 4.2 A/FE. Ti erreicht ein Maximum von 0.02 A/FE. Ist das Verhältnis Al : Si = 1 : 3, so resultiert daraus bei geordneter Verteilung von Al und Si in den (Al, Si) O_4-Tetraedern trikline Symmetrie (TAYLOR 1962, zitiert in TRÖGER 1969, S. 647).

Beim Orthoklas-Mikroperthit liegen die Werte für X im Vergleich zu den theoretischen Werten unter 4, wogegen die Anzahl der Kationen beim Albit 4.0 beträgt. K besetzt zwischen 1.48 bis 2.46 A/FE im Orthoklas-Mikroperthit und fehlt im Albit. Na erreicht 0.59 bis 1.56 A/FE im Orthoklas-Mikroperthit und 3.76 A/FE im Albit. Ca ist naturgemäss mit den niedrigsten Werten in der X-Gruppe vertreten; sie liegen zwischen 0.02 und 0.05 A/FE in Orthoklas-Mikroperthit und 0.27 A/FE in Albit.

Tab. 13 : Chemische Zusammensetzung und Atomproportionen von Feldspäten aus plutonischen Gesteinen von Ecuador. Gesamteisen als FeO bestimmt.

	I-1a	I-1b	I-1c Rand → Kern			
SiO_2	66.63	66.83	58.92	59.13	62.12	58.35
Al_2O_3	19.62	20.18	23.71	27.66	22.80	25.87
TiO_2	0.02	0.15	0.01	0.01	0.02	0.03
FeO	-	-	-	0.26	-	0.19
MnO	-	-	-	-	-	0.01
CaO	0.26	1.45	4.68	5.20	6.71	7.69
Na_2O	1.68	11.05	9.43	7.91	7.97	6.90
K_2O	10.65	-	0.29	0.34	0.18	0.32
Summe	98.86	99.66	97.04	100.51	99.80	99.36
Anzahl der Kationen (bezogen auf O = 32)						
Si	12.069	11.766	10.832	10.461	11.068	10.512
Al	4.190	4.186	5.135	5.773	4.785	5.494
Ti	-	0.021	-	-	-	-
Summe	16.259	15.973	15.967	16.234	15.998	16.006
Fe	-	-	-	0.043	-	0.032
Mn	-	-	-	-	-	-
Ca	0.054	0.275	0.916	0.989	1.284	1.481
Na	0.588	3.763	3.357	2.711	2.751	2.412
K	2.459	-	0.066	0.074	0.043	0.076
Summe	3.101	4.038	4.339	3.817	4.078	4.001
Ab	19.0	93.2	77.4	71.0	67.5	60.3
Mol.%An	1.7	6.8	21.1	27.0	31.5	37.8
Or	79.3	-	1.5	1.9	1.0	1.9

Tab. 13 : Fortsetzung

	I-5a	I-5b	I-16	II-23	II-28 Rand	II-28 Kern	II-32
SiO_2	69.65	64.61	57.68	61.08	52.30	51.66	57.02
Al_2O_3	20.21	23.15	29.17	23.70	33.86	34.42	28.56
TiO_2	0.01	-	0.01	0.02	-	-	0.01
FeO	-	-	-	-	0.23	0.14	-
MnO	-	-	-	-	-	0.04	0.03
CaO	0.10	4.81	4.35	6.30	7.56	10.29	6.95
Na_2O	4.61	8.80	8.40	7.93	5.65	4.85	7.62
K_2O	6.65	0.24	-	0.12	0.01	0.05	-
Summe	101.23	101.61	99.61	99.15	99.61	101.45	100.19
Anzahl der Kationen (bezogen auf O = 32)							
Si	12.131	11.239	10.266	10.945	9.395	9.178	10.169
Al	4.141	4.742	6.117	5.004	7.163	7.204	6.000
Summe	16.272	15.981	16.383	15.949	16.558	16.382	16.169
Fe	-	-	-	-	-	0.021	-
Mn	-	-	-	-	-	0.011	-
Ca	0.021	0.988	0.834	1.205	1.456	1.964	1.329
Na	1.558	2.967	2.898	2.756	1.963	1.676	2.636
K	1.475	0.052	-	0.032	-	0.011	-
Summe	3.054	3.917	3.732	3.993	3.451	3.683	3.965
Ab	51.0	75.7	77.7	69.0	56.9	45.6	66.5
Mol.%An	0.7	22.9	22.3	30.2	43.1	54.1	33.5
Or	48.3	1.3	-	0.8	-	0.3	-

	II-38	II-44	II-51	III-60	III-65	III-69	III-70
SiO_2	58.97	56.07	60.79	60.32	53.47	52.23	53.93
Al_2O_3	27.16	28.74	25.66	24.29	30.60	31.01	27.46
TiO_2	-	0.02	0.03	-	0.02	0.01	-
FeO	-	-	-	-	0.49	0.18	-
MnO	-	0.02	-	-	0.05	0.01	-
CaO	8.78	9.48	6.53	6.68	7.92	9.14	10.19
Na_2O	6.48	6.07	7.25	8.23	7.11	7.03	6.47
K_2O	0.28	-	-	0.28	0.27	0.12	0.14
Summe	101.67	100.40	100.26	99.80	99.93	99.73	98.19
Anzahl der Kationen (bezogen auf O = 32)							
Si	10.379	10.019	10.748	10.788	9.661	9.436	9.938
Al	5.634	6.056	5.342	5.126	6.513	6.597	5.965
Summe	16.013	16.075	16.090	15.914	16.174	16.033	15.903
Fe	-	-	-	-	0.076	0.027	-
Mn	-	-	-	-	0.011	-	-
Ca	1.659	1.815	1.243	1.279	1.530	1.768	2.014
Na	2.209	2.104	2.485	2.847	2.497	2.461	2.313
K	0.063	-	-	0.064	0.065	0.028	0.033
Summe	3.931	3.919	3.728	4.190	4.179	4.284	4.360
Mol.% Ab	56.2	53.7	66.7	67.9	59.9	57.4	53.0
Mol.% An	42.2	46.3	33.3	30.5	38.5	41.9	46.2
Mol.% Or	1.6	-	-	1.5	1.6	0.7	0.8

Der Anteil der Alkalifeldspäte variiert von 0.1 bis 68.3%. Der normative Orthoklas-Anteil schwankt im Orthoklas-Mikroperthit von 48.3 bis 79.3%, im Albit liegt er bei Null. Der normative Albit-Gehalt liegt im Orthoklas-Mikroperthit zwischen 19 und 51% und erreicht 93.2% im Albit. Der Anorthit-Gehalt beträgt 1.6% im Orthoklas-Mikroperthit und erreicht sein Maximum von 6.8% im Albit. CHAYES (1952, zitiert in MEHNERT 1968, S. 102) stellte heraus, daß die Perthit-Bildung vom Stress abhängig ist. Dies dürfte auf beide ecuadorische Plutonite zutreffen, und zwar deswegen, weil deren Quarz fast immer stressbedingte undulöse Auslöschung zeigt.

3.3.1.2. Plagioklas

Allgemeine Formel: $X_4Z_{16}O_{32}$ mit X = Na, Ca, K und Z = Si, Al, Ti. Die Z-Gruppe variiert von 15.9 bis 16.5 A/FE. Ti ist sehr untergeordnet in der Z-Gruppe vertreten und erreicht höchstens 0.03 Gew.% als Oxid, deswegen kommt Ti nicht in die Strukturformeln.

Die X-Gruppe enthält die grossen Kationen Ca, Na, K und gelegentlich Fe^{2+} und Mn. Sie variieren zwischen 3.7 und 4.36 A/FE. Mn kommt nur in drei Proben mit 0.01 A/FE vor; der höchste Fe^{2+}-Wert liegt bei 0.08 A/FE.

Die Zusammensetzung der Plagioklase ist im Gegensatz zu den Alkalifeldspäten von der Art des Gesteins abhängig (HALL 1967). Man kann folgende Hinweise dafür anführen:

a. Die Alkalifeldspäte sind rekristallisiert und erreichen eine Länge von 1 cm und mehr.

b. Die Plagioklase sind immer zoniert, die Alkalifeldspäte jedoch nicht. Die Plagioklase zeigen ihren höchsten Anorthit-Gehalt im Kern, d.h. normale Zonierung.

c. Die Bildung der Plagioklase erfolgt bei höheren Temperaturen als bei den Alkalifeldspäten. U. d. M. erkennt man, daß die Plagioklase als Einschlüsse in Kalifeldspat auftreten. Dies bestätigt sowohl BOWEN's kontinuierliche Reaktionsserie, als auch die Beziehung zwischen dem Chemismus der Plagioklase und dem des Gesteins.

d. Die Ca-, Na-, K- und Al-Werte im Plagioklas repräsentieren die Zusammensetzung der Gesteine, die der Kalifeldspäte jedoch nicht (HALL 1967). Die Zunahme der Kalium- und Natrium-Gehalte der untersuchten Plagioklase ist mit einer Verringerung der Aluminium- und Calcium-Konzentration verbunden. In Abb. 46 ist die Beziehung von CaO, Na_2O und K_2O im Plagioklas zum SiO_2-Gehalt im Gestein ersichtlich. Mit zunehmendem SiO_2-Gehalt im Gestein steigen auch die Na_2O- und K_2O-Werte der zugehörigen Plagioklase. Das Calcium im Plagioklas und damit der Anorthit-Gehalt dagegen nimmt ab, je saurer das Gestein wird.

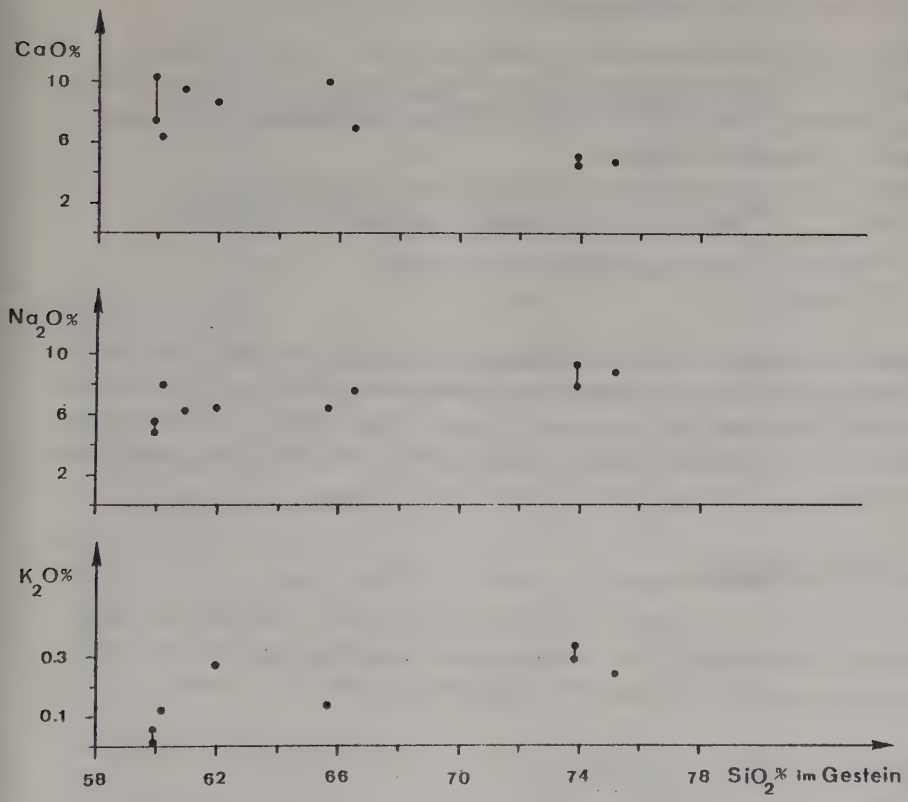


Abb. 46 : Die Beziehung zwischen CaO, Na_2O- und K_2O-Gehalt der Plagioklase und dem SiO_2-Gehalt des zugehörigen Gesteins.

Die in Kap. 2.3. angegebenen Anorthit-Gehalte der Plagioklase wurden nach folgenden Methoden bestimmt:

a. U-Tisch-Messung der maximalen Auslöschungsschiefe $\perp$ (010) nach MICHEL-LÉVY (1894) und RITTMANN (1929).

b. U-Tisch-Messung des 2V - Winkels nach SMITH (1958) und BURRI et al. (1966).

c. Berechnung aus der chemischen Gesteinsanalyse nach der RITTMANN-Norm (1973).

d. Berechnung der Mikrosonden-Mineralanalyse ($An\% = \frac{Ca+Fe^{2+}}{Ca+Fe^{2+}+Na}$)

e. Si/Al Verteilung (TRÖGER 1969).

f. Mittels Pulverdiagrammen. Hierbei sind die Grenzkurven der Liniendifferenz $2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$ bzw. $2\theta_{241}-2\theta_{2\bar{4}1}$. Die Plagioklase der untersuchten Plutonite sind Tiefenplagioklase und können weiter unterteilt werden:

1) An_{0-2} Bereich der Struktur von Albit (tief).
2) An_{17-32}) Bereich von "Andesin-Labradorit (tief)"
3) An_{32-48}) (= intermediate structure).
4) An_{48-78})

Die oben verwendeten Methoden ergeben aufgrund der Zonierung der Plagioklase z.T. unterschiedliche Ergebnisse (Tab. 14). Die Methoden a und b stimmen gut überein; c zeigt die höchsten Anorthit-Gehalte; d und e gleichen sich bezüglich der Zonierung; f zeigt einen Mittelwert.

3.3.2. Biotit-Reihe

Zwölf Biotite aus plutonischen Gesteinen Ecuadors wurden mit der Mikrosonde analysiert. Die analysierten Daten und die berechneten Mineralformeln sind in Tab. 15 zusammengestellt.

Allgemeine Formel: $X_2Y_{6-4}Z_8O_{20}(OH)4$, mit X = K, Na, Ca; Y = Fe^{2+}, Mg, Al, Ti, Mn; Z = Si, Al.
Die tetraedisch-koordinierte Z-Gruppe besteht aus $Si^{[4]}$ und $Al^{[4]}$, wobei vermutlich alle Seiten besetzt sind.

Tab. 14 : Vergleich der Bestimmung des Anorthit-Gehalts der Plagioklase nach verschiedenen Methoden.

	I-1	I-6	II-23	II-28	II-32	II-38	II-44	II-51	III-60	III-69	III-70	III-74
a. U-Tisch (Auslöschungsschiefe)	19	29	33	43	34	44	41	35	34	41	44	34
b. U-Tisch (2V - Winkel)	20	28	34	44	34	43	42	34	35	42	45	33
c. RITTMANN-Norm	19	30	44	58	22	44	41	-	-	-	46	34
d. Berechnung der Mikrosonden-Analyse	21-32	-	30	39-54	33	43	46	33	30	42-45	46	-
e. Si/Al-Verteilung	20-27	-	23	-	47	38	48	31	26	43	48	-
f. Röntgenanalyse	21	25	-	-	30	-	49	-	-	-	-	30

Tab. 15 : Chemische Zusammensetzung und Atomproportionen von Biotiten aus plutonischen Gesteinen von Ecuador. Gesamteisen als FeO bestimmt.

	I-1	II-16	II-23	II-28	II-32	II-38
SiO_2	32.86	36.76	38.96	35.54	37.12	32.09
Al_2O_3	15.13	14.62	16.19	15.07	12.87	12.33
TiO_2	3.22	2.89	2.13	3.10	4.22	4.64
FeO	25.83	14.81	19.68	18.39	15.92	20.33
MnO	0.13	0.21	0.24	0.91	0.33	0.15
MgO	9.06	14.70	10.31	12.53	15.62	10.27
CaO	2.78	-	-	0.07	0.10	-
Na_2O	0.23	0.35	0.15	0.10	0.36	0.34
K_2O	5.26	8.54	10.54	7.94	9.15	8.25
Summe	94.50	92.79	98.20	93.65	95.69	88.40
Anzahl der Kationen (bezogen auf O = 22, anhydrische Basis)						
Si) Z	5.200	5.616	5.769	5.493	5.576	5.392
Al)	2.800	2.384	2.231	2.507	2.283	2.442
Summe	8.000	8.000	8.000	8.000	7.859	7.834
Al)	0.023	0.254	0.596	0.240	-	-
Ti)	0.380	0.331	0.240	0.362	0.477	0.586
Fe) Y	3.422	1.893	2.436	2.375	1.999	2.856
Mn)	0.019	0.028	0.027	0.121	0.042	0.022
Mg)	2.132	3.355	2.276	2.886	3.496	2.570
Summe	5.976	5.861	5.575	5.984	6.014	6.034
Ca)	0.470	-	-	0.009	0.180	-
Na) X	0.070	0.101	0.044	0.028	0.104	0.111
K)	1.065	1.664	1.991	1.568	1.752	1.767
Summe	1.605	1.765	2.035	1.605	2.036	1.878
$\frac{Mg}{Mg+Fe}$	$\frac{38.4}{61.6}$	$\frac{63.9}{36.1}$	$\frac{48.3}{51.7}$	$\frac{54.9}{45.1}$	$\frac{63.6}{36.4}$	$\frac{47.4}{52.6}$

Tab. 15: Fortsetzung

	II-44	II-48	II-51	III-60	III-69	III-70
SiO_2	35.73	36.51	38.31	37.58	35.17	35.10
Al_2O_3	14.64	15.95	15.76	13.87	14.68	13.79
TiO_2	3.45	2.85	2.21	4.10	3.24	3.61
FeO	18.48	19.23	18.67	17.85	14.49	20.52
MnO	0.34	0.83	0.30	0.21	0.25	0.30
MgO	12.20	10.82	11.72	14.68	14.29	11.35
CaO	-	-	-	-	-	0.15
Na_2O	0.23	0.03	1.37	0.27	0.37	0.32
K_2O	8.44	9.72	7.47	9.45	9.10	9.95
Summe	93.51	95.94	95.81	98.01	91.59	95.09
Anzahl der Kationen (bezogen auf O = 22, anhydrische Basis)						
Si) Z	5.536	5.554	5.734	5.547	5.496	5.472
Al) Z	2.464	2.446	2.266	2.411	2.504	2.528
Summe	8.000	8.000	8.000	7.958	8.000	8.000
Al)	0.206	0.413	0.508	-	0.197	0.011
Ti)	0.400	0.326	0.248	0.454	0.384	0.424
Fe) Y	2.391	2.446	2.332	2.202	1.894	2.675
Mn)	0.047	0.107	0.038	0.027	0.038	0.040
Mg)	2.819	2.452	2.608	3.227	3.319	2.635
Summe	5.863	5.744	5.734	5.910	5.832	5.785
Ca)	-	-	-	-	-	0.024
Na) X	0.070	0.009	0.398	0.080	0.113	0.095
K)	1.668	1.886	1.427	1.781	1.810	1.979
Summe	1.738	1.895	1.825	1.861	1.923	2.098
Mg /	54.1	50.1	52.8	59.4	63.7	49.6
Mg+Fe	45.9	49.9	47.2	40.6	36.3	50.4

5.58 bis 6.03 A/Fe der oktaedrischen Seite sind in der Y-Gruppe besetzt. Die Kationen der Y-Gruppe bestehen aus höheren Gehalten an Fe^{2+} und Mg und geringeren von $Al^{[6]}$, Ti und Mn. $Al^{[6]}$ ersetzt (Fe^{2+}, Mg) in dem untersuchten Biotit aus granitischen Intrusiv-Körpern mit 0.0 - 0.6 A/FE. Der $Al^{[6]}$-Gehalt ist in jenen Biotiten hoch, die unter relativ niedrigen Temperaturen auskristallisiert sind. Das ist bedingt durch die Gleichgewichts-Substitution von $Al^{[6]}$ durch Fe^{2+} und Mg. Ti ersetzt entweder Si in tetraedrischer oder (Fe,Mg) in oktaedrischer Koordination.

TiO_2 ist mit 2.13 - 4.64% vertreten. Hohe Titan-Gehalte weisen auf hohe Kristallisations-Temperaturen hin (ALBUQUERQUE 1973). Mit abnehmendem Ti nimmt $Al^{[6]}$ zu (Abb. 47).

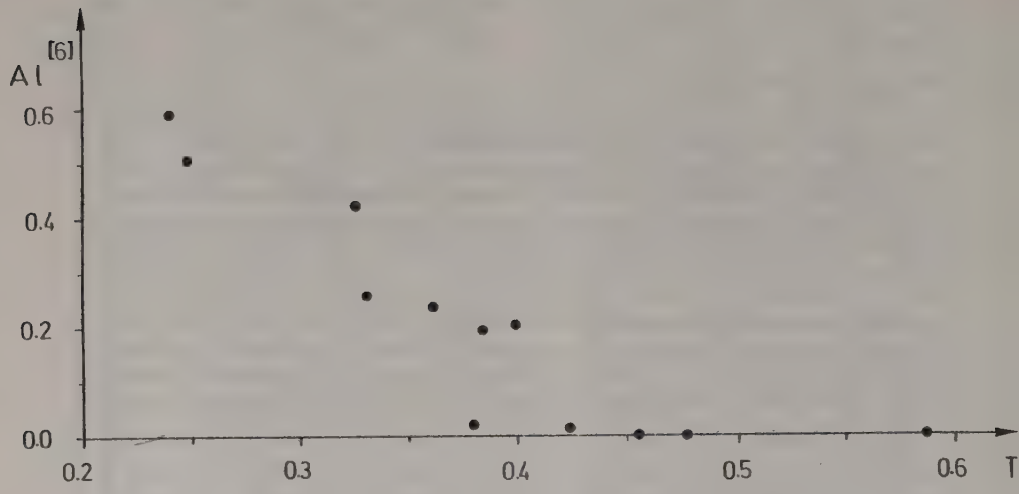


Abb. 47 : Beziehung zwischen Ti und $Al^{[6]}$ in Biotiten ecuadorischer Plutonite.

Der Austausch von Fe^{2+} durch Mn liegt zwischen 0.02 und 0.12 A/FE; nach DEER et al. (1974) sollte der Wert von 0.2 A/FE nicht überschritten werden. Der Mn-Gehalt für Lepidomelan in den untersuchten Biotiten liegt bei 0.206% MnO; für Meroxen ist er grösser als 0.206%, mit einem Mittelwert von 0.423% MnO. Fe und Al nehmen zu, Mg und Si nehmen ab. Dies entspricht dem Differentiations-Trend in Richtung felsischer Gesteine. Mit zunehmendem $Fe_{tot}/Fe_{tot}+Mg$ nimmt SiO_2 im Biotit ab, SiO_2 im Gestein dagegen zu; $Al^{[6]}$ und $Al^{[4]}$ im Biotit steigen an.

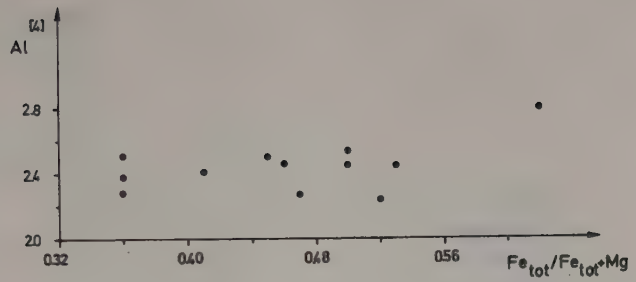


Abb. 48 : Beziehung zwischen $Fe_{tot}/Fe_{tot}+Mg$ und $Al^{[4]}$ in Biotiten ecuadorischer Plutonite.

In der X-Gruppe macht K nicht weniger als 66.4% der X-Ionen aus. Der Ersatz von Na durch K ist sehr beschränkt. Bei Lepidomelan ist ein etwas geringerer Einbau von Na festzustellen als beim Meroxen. Na übersteigt selten mehr als 0.5 A/Fe (DEER et al. 1974). In den untersuchten Biotiten hat Na nicht mehr als 0.4 A/Fe. CaO tritt nur in 4 der 12 analysierten Proben mit Werten bis zu 2.8 Gew.-% auf.

Die optischen und chemischen Daten sind miteinander verknüpft. Licht- und Doppelbrechung steigen mit zunehmendem Eisen-Gehalt an. Mit steigendem FeO/MgO-Verhältnis nimmt der Brechungsindex im Biotit zu (DEER 1937). Die Farbe der Biotite schwankt in Abhängigkeit vom Fe-, Mg- und Ti-Gehalt zwischen blaugrün, braungrün, braun und rotbraun. Eisen verursacht die grüne Farbe des Biotits, Titan die braune und rote. Magnesium maskiert die Farbe von Titan. Nach der Einteilung von HALL (1941) ist die Farbe des Biotits braun, und zwar aufgrund hoher FeO-, niedriger TiO_2- und niedriger MgO-Gehalte (Abb. 49). Die Biotite der Magmatite sind im primären Zustande meist braun gefärbt (TRÖGER 1969).

Für die Abgrenzung der einzelnen Glieder der Biotit-Reihe wurde die Klassifizierung nach TRÖGER (1969) herangezogen:

$$\frac{Mg_{100}}{Fe_{00}}\text{Phlogopit}\frac{Mg_{80}}{Fe_{20}}\text{Meroxen}\frac{Mg_{50}}{Fe_{50}}\text{Lepidomelan}\frac{Mg_{20}}{Fe_{80}}\text{Siderophyllit}\frac{Mg_{00}}{Fe_{100}}$$

In den plutonischen Gesteinen Ecuadors ist die Biotit-Reihe durch die zwei mittleren Glieder, Lepidomelan und Meroxen, vertreten. Die beiden Endglieder Siderophyllit und Phlogopit konnten weder in den untersuchten plutonischen Gesteinen Ecuadors, noch in den Para-Gesteinen und Orthogneisen der E-Kordillere (HERBERT 1977) nachgewiesen werden.

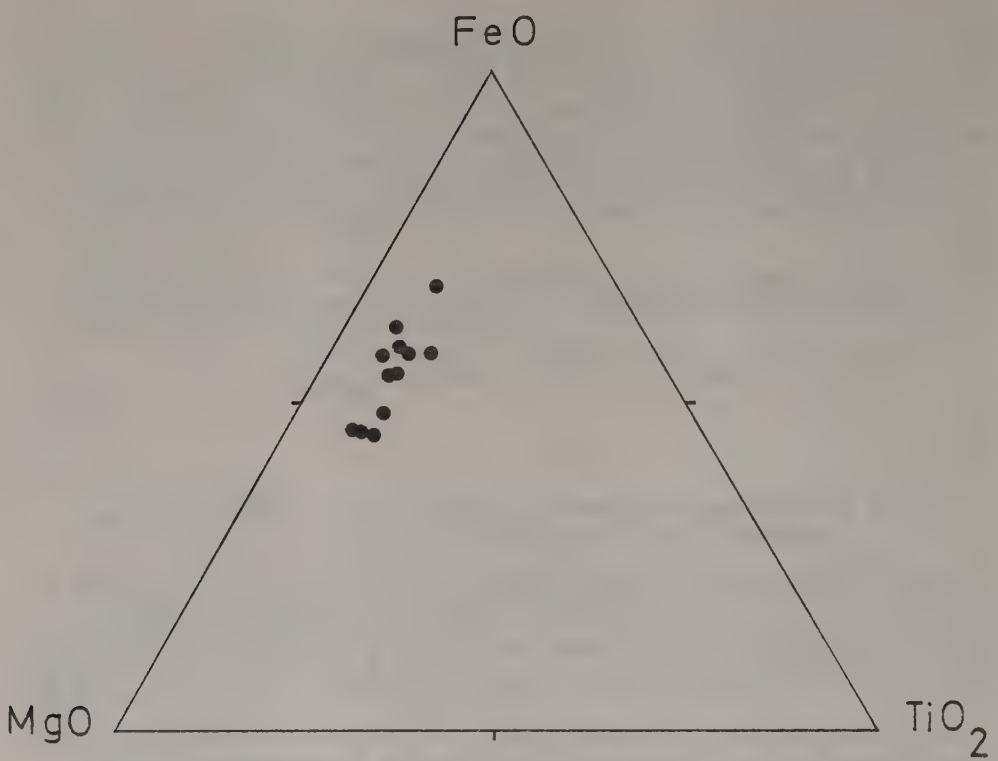


Abb. 49 : Die Verteilung von FeO, MgO und TiO_2 in den Biotiten plutonischer Gesteine von Ecuador.

Die Vertretbarkeit Mg/Fe^{2+} liegt in den untersuchten Biotiten zwischen

$$\frac{Mg_{38.4}}{Fe_{61.6}} \text{ und } \frac{Mg_{63.9}}{Fe_{36.1}}$$

Mit einem Mg/Fe-Verhältnis unter eins fallen 4 der 12 analysierten Biotite ins Lepidomelan-Feld. Die anderen Proben weisen höhere Mg-Werte auf und liegen im Meroxen-Feld.

Das Verhältnis Eisen zu Magnesium steigt in den plutonischen Gesteinen mit fortschreitender Differentiation, d.h. das Verhältnis wird mit zunehmendem SiO_2-Gehalt der Schmelze höher (Abb. 50).

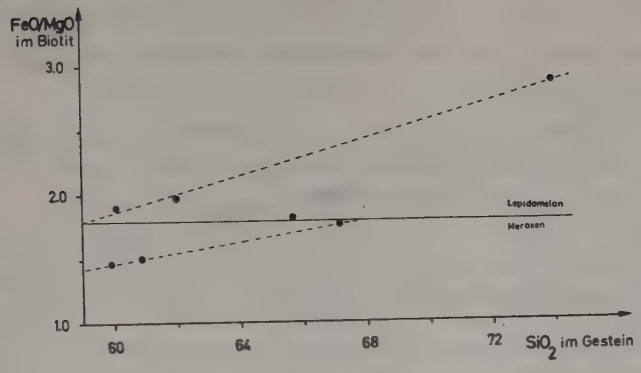


Abb. 50 : Beziehung zwischen FeO/MgO im Biotit und dem SiO_2-Gehalt im zugehörigen Gestein. Die obere Linie verbindet die eisen-reicheren Biotite (Lepidomelan), die untere die magnesium-reicheren Glieder (Meroxen).

Als Ferromagnesium-Mineral ist Biotit in den granitischen Gesteinen das wichtigste Mineral, so dass das Verhältnis Eisen zu Magnesium in den Plutoniten zum grössten Teil durch die Biotit-Zusammensetzung bestimmt wird (KABESH und RAGAB 1974; KABESH et al. 1975).

Das FeO/MgO-Verhältnis für die analysierten Biotite variiert zwischen 1.22 und 2.85. Das bedeutet, dass die Biotite in den plutonischen Gesteinen Ecuadors aus nur wenig differenzierten Magmen auskristallisiert sind.

Abb. 51 zeigt den Zusammenhang zwischen dem "solidification index" (= Erstarrungsindex SI) des Wirtsgesteines und des Biotits, ausgedrückt durch das Verhältnis $(100xMgO)/(MgO+FeO+Fe_2O_3+Na_2+K_2O)$ nach KUNO (1959) und dem "iron index" (Osborn-Faktor) der Plutonite und Biotite $(FeO+Fe_2O_3)/(FeO+Fe_2O_3+MgO)$ nach OSBORN (1959).

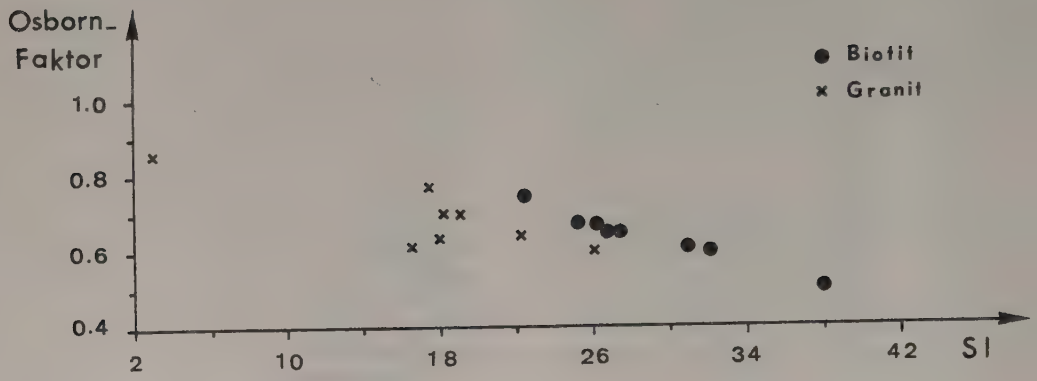


Abb. 51: Beziehung zwischen Biotit und Wirtsgranit im Osborn-Faktor/SI-Diagramm.

Aus der Abbildung geht hervor, dass a) der Eisen-Gehalt im Biotit ziemlich hoch ist und b) mit abnehmendem SI die Differentiation fortschreitet und dabei sowohl das Gestein als auch der Biotit allmählich eisen-reicher und magnesium-ärmer werden. Dieser Trend führt zu hohen Eisengehalten im Biotit und bedingt nur geringe Prozentgehalte an anderen Gemengteilen der Plutonite, wie z.B. des Magnetits.

OSBORN (1959) stellte heraus, dass die Magmen-Differentiation einer der zwei Kristallisations-Trends folgt:

Typ I: Der Sauerstoff-Druck ist niedrig, das Eisen ist in den Silikaten viel stärker angereichert als in den Oxid-Mineralen, die Restschmelze ist eisen-reich.

Typ II: Der Sauerstoff-Druck ist hoch, Magnetit scheidet sich während der Kristallisation verstärkt aus, weswegen die später differentierten Glieder ziemlich eisen-arm sind.

Demnach folgen die plutonischen Gesteine Ecuadors dem ersten Kristallisations-Trend, d.h. das Fe ist bevorzugt in den Biotiten und nur zu einem sehr geringen Teil in den opaken Anteilen angereichert. Daraus ergibt sich eine sehr niedrige Sauerstoff-Fugazität.

Nach WONES und EUGSTER (1965) gibt es zwei entgegengesetzte Tendenzen der Biotit-Kristallisation:

Trend I: Hierbei nimmt die Sauerstoff-Fugazität ab. Wenn fO_2 mit sinkender Temperatur abnimmt, nimmt auch das Verhältnis Mg/Fe im Biotit und damit der Magnetit-Gehalt ab.

Trend II: Hierbei handelt es sich um eine Schmelze, in der die Sauerstoff-Fugazität konstant bleibt oder nur wenig zunimmt. Der magnesium-reichere Trend in der Biotit-Zusammensetzung repräsentiert die konstant bleibende oder zunehmende Sauerstoff-Fugazität; er führt zur Zunahme des Magnetit-Gehaltes und des Mg/Fe-Verhältnisses.

In den Plutoniten Ecuadors nimmt die Sauerstoff-Fugazität mit abnehmender Temperatur ab, das würde dem Trend I von WONES & EUGSTER entsprechen.

Magnetit tritt nur untergeordnet, mit weniger als 1.6 Vol.-%, in den Plutoniten auf. Die Magnetit-Gehalte in den plutonischen Gesteinen Ecuadors sind zum $(FeO+Fe_2O_3)/(FeO+Fe_2O_3+MgO)$-Verhältnis im begleitenden Biotit umgekehrt proportional (Abb. 52).

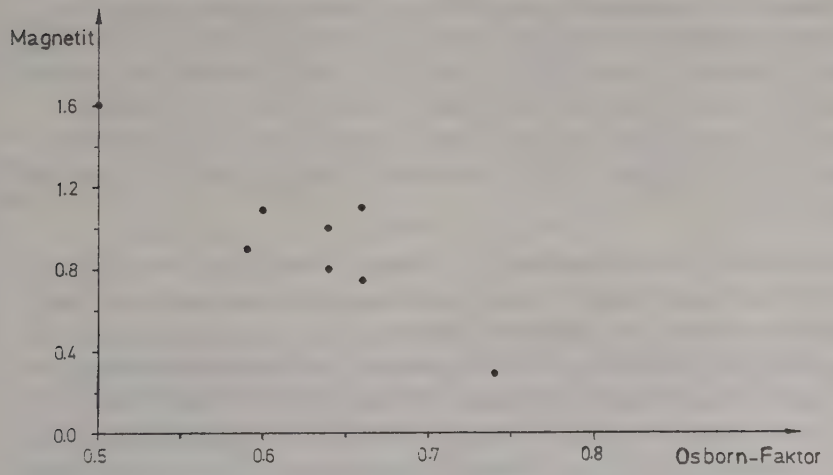


Abb. 52: Beziehung zwischen dem Magnetit-Gehalt im Gestein und dem Osborn-Faktor im zugehörigen Biotit.

Die Abb. 52 zeigt, dass die Magnetit-Abscheidung mit zunehmendem Osborn-Faktor, d.h. mit fortschreitender Differentiation, geringer wird.

3.3.3. Chlorit-Gruppe

Die analytischen Daten der Chlorite und die berechneten Mineralformeln sind in Tab. 16 zusammengestellt.

Allgemeine Formel: $Y_{12}Z_8O_{20}(OH)_{16}$, wobei Y die Kationen in oktaedrischer Koordination und Z die Kationen in tetraedrischer Koordination darstellen.

Die Z-Gruppe besteht aus Si und $Al^{[4]}$ und beträgt 8.00 A/FE. Der Austausch des Siliziums durch Aluminium in Tetraederpositionen liegt zwischen ($Si_{6.5}Al_{1.5}$) und ($Si_{5.8}Al_{2.2}$) bzw. zwischen 37.2 und 54.2 Mol.-% $al^{[4]}$ (Abb. 53).

Die Summe der Y-Gruppe variiert von 11.8 bis 12.1 A/FE mit hohen Fe-, Mg-, und niedrigen Al-, und sehr niedrigen Ti-, Mn-, Ca-, Na- und K-Gehalten. Al ersetzt Fe und Mg von 1.8 bis 2.2 A/FE. Das $Fe_{tot}/Fe_{tot}+Mg$-Verhältnis hat einen Mittelwert von 0.55. Niedrige Gehalte an TiO_2 (1 - 2.3 Gew.-%) sind die Regel. MnO ist in geringen Mengen vertreten (0.32 - 0.85 Gew.-%). Der durchschnittliche Wert von $CaO+Na_2O+K_2O$ beträgt 0.9 Gew.-%.

Die Farbe der Chlorite ist grün und nimmt in der Farbintensität mit dem Eisengehalt zu, nämlich von farblos bis gelblichgrün bei den eisen-armen Varietäten und dunkelgrün oder braungrün bei den eisenreicheren Gliedern. Höhere Mangan-Gehalte können orangerote Farbtöne liefern, wenn zugleich der Eisengehalt niedrig ist (TRÖGER 1969). Die untersuchten Chlorite haben nicht mehr als 0.85% MnO und stets über 18.6% FeO. Die Lichtbrechung steigt mit zunehmendem Eisengehalt an.

Nach den statistischen Analysen von FOSTER (1962) sind die Felder der Al-armen intermediären Chlorite (Diabantit, Pyknochlorit und Brunsvigit) generell nur spärlich besetzt. Um daraus Rückschlüsse auf sekundär gebildete Chlorite aus Magmatiten ziehen zu können, sind zu wenig Unterlagen vorhanden (FOSTER 1962; TRÖGER 1969). Im Rahmen dieser Arbeit wurden 6 Chlorit-Proben aus plutonischen Gesteinen Ecuadors analysiert. Diese Chlorite fallen in die gleichen Felder wie die Chlorite aus den granitischen Gesteinen der zentralen

Tab. 16: Chemische Zusammensetzung und Atomproportionen von Chloriten aus plutonischen Gesteinen von Ecuador. Gesamteisen als FeO bestimmt.

	I-5	I-16a	I-16b	I-16c	II-28	III-70
SiO_2	27.96	25.02	25.93	26.08	31.06	26.53
Al_2O_3	12.12	14.88	14.92	15.70	15.72	15.18
TiO_2	2.23	1.08	1.29	1.03	2.30	1.07
FeO	29.02	26.91	26.17	26.37	18.63	26.43
MnO	0.32	0.73	0.68	0.64	0.85	0.46
MgO	5.79	12.32	12.84	11.25	16.30	13.61
CaO	3.84	-	0.32	1.27	-	1.78
Na_2O	0.17	0.43	0.33	0.20	0.24	0.40
K_2O	3.41	0.57	0.16	-	2.90	0.27
Summe	84.86	81.94	82.64	82.54	88.00	85.73
Anzahl der Kationen (O = 28, anhydrische Basis)						
Si) Z	6.514	5.832	5.929	5.969	6.404	5.860
Al)	1.486	2.168	2.071	2.031	1.596	2.140
Summe	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al)	1.841	1.916	1.951	2.210	2.212	1.810
Ti)	0.391	0.182	0.220	0.179	0.358	0.178
Fe)	5.647	5.245	4.996	5.046	3.202	4.880
Mn) Y	0.063	0.140	0.137	0.124	0.148	0.087
Mg)	2.013	4.266	4.365	3.836	4.994	4.478
Ca)	0.964	-	0.082	0.316	-	0.422
Na)	0.084	0.196	0.151	0.096	0.099	0.170
K)	1.001	0.168	0.041	-	0.766	0.077
Summe	12.004	12.113	11.943	11.807	11.779	12.102
$\frac{Fe_t}{Fe_t+Mg}$	0.74	0.55	0.53	0.57	0.39	0.52
al [4] Mol-%	37.2	54.2	51.8	50.8	39.9	53.5
fe [6] Mol-%	53.7	53.4	50.3	50.6	30.8	49.5

Sierra Nevada/Kalifornien (DOODGE 1973) und jener aus dem Zanjan Gebiet/NW Iran (REFAAT und ABDALLAH 1979). Nach TRÖGER (1969) sind die untersuchten Chlorite als Orthochlorite zu bezeichnen und gehören zur Gruppe der intermediären Chlorite.

Zur Klassifizierung der Chlorite aus den untersuchten Plutoniten wird das Variationsdiagramm der Orthochlorite (14 Å-Chlorite oder Normal-Chlorite mit niedrigen Fe^{3+}-Gehalten) von TRÖGER (1969) verwendet (Abb. 53). Es entspricht im wesentlichen dem Variationsfeld der unoxidierten Chlorite von HEY (1954).

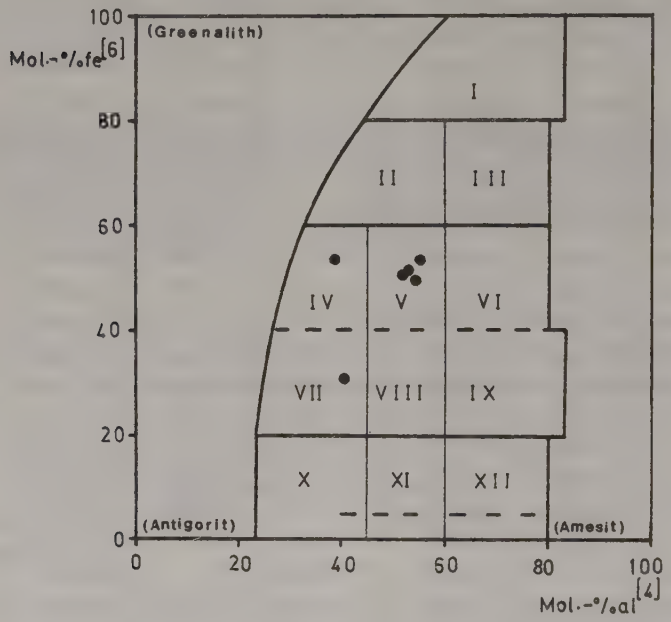


Abb. 53: Die Lage der Chlorite plutonischer Gesteine aus Ecuador im Klassifikations-System nach TRÖGER (1969). Ordinate = Mol.-% $fe^{[6]}$ (= $\frac{Fe_{tot}}{4 \cdot Si} \cdot 100$), Abszisse = Mol.-% $al^{[4]}$ (8-Si)*25).

I = Bavalit, II = Brunsvigit, III = Aphrosiderit, IV = Fe-Diabantit, V = Fe-Pyknochlorit, VI = Fe-Ripidolith, VII = Mg-Diabantit, VIII = Mg-Pyknochlorit, IX = Mg-Ripidolith, X = Pennin, XI = Klinochlor, XII = Grochauit.

Die Chlorite werden nach steigendem Eisengehalt in drei Reihen gegliedert:

0 - 20 Mol.-% fe: Magnesium-Chlorite
20 - 60 Mol.-% fe: Magnesium-Eisen-Chlorite
60 - 100 Mol.-% fe: Eisen-Chlorite

Die untersuchten Chlorite verteilen sich auf zwei Felder: Auf das Fe-Pyknochlorit- und Fe-Diabantit-Feld einerseits und das Mg-Diabantit-Feld andererseits. Die Chlorite vom Chuga-Pluton sind Fe--ärmer als die der anderen Plutone.

Die Al-armen Glieder der Chlorit-Reihe, Diabantit und Pyknochlorit, werden nach TRÖGER (1969) fast ausnahmslos von Chloriten der magmatischen Gesteine vertreten.

3.3.4. Amphibol-Gruppe

Zehn Amphibol-Proben aus plutonischen Gesteinen Ecuadors wurden mit der Mikrosonde analysiert. Die analytischen Daten und die berechneten Mineralformeln sind in Tab. 17 zusammengestellt.

Allgemeine Formel: $X_{2-3}Y_5Z_8O_{22}(OH)_2$ mit X = Ca, Na, K; Y = Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al, Ti, Mn; Z = Si, Al.

In der Z-Gruppe (Si, $Al^{[4]}$) ist die Beziehung zwischen Si und $Al^{[4]}$ linear (Abb. 54). Mit der Si-Abnahme nimmt $Al^{[4]}$ zu. Die gleiche Beziehung zeigt die Z-Gruppe gegen $Al^{[6]}$.

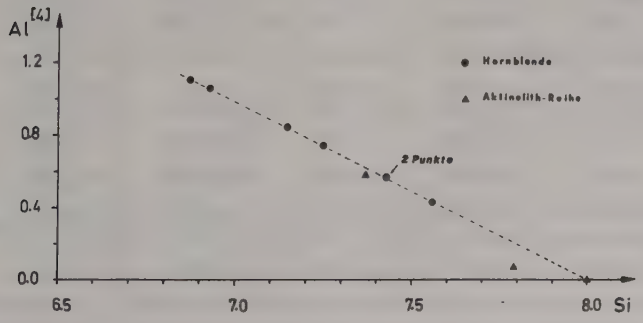


Abb. 54: Beziehung zwischen Si und $Al^{[4]}$ in der Amphibol-Gruppe, dargestellt am Beispiel von ecuadorischen Plutoniten.

Tab. 17: Chemische Zusammensetzung und Atomproportionen von Amphibolen. Gesamteisen als FeO bestimmt. I-16 bis III-70 = Hornblende, III-60 = aktinolithische Hornblende, II-32 = Aktinolith, II-38 = Tremolit.

	I-16	II-28	II-29	II-44	II-51
SiO_2	51.45	48.41	46.20	51.56	50.50
Al_2O_3	4.00	7.01	8.69	4.92	9.33
TiO_2	1.38	0.65	0.76	0.63	0.80
FeO	17.69	14.62	15.11	14.91	16.85
MnO	0.94	0.99	0.62	0.63	0.46
MgO	12.03	13.69	11.25	14.01	11.41
CaO	11.54	9.83	11.94	10.95	8.23
Na_2O	1.25	1.39	1.22	1.09	1.30
K_2O	0.43	0.40	0.74	0.29	0.12
Summe	100.71	96.99	96.53	98.99	99.00
Anzahl der Kationen (bezogen auf O = 23, anhydrische Basis)					
Si) Z	7.427	7.149	6.932	7.427	7.249
Al)	0.573	0.851	1.068	0.573	0.751
Summe	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al)	0.102	0.363	0.464	0.258	0.826
Ti)	0.147	0.071	0.090	0.069	0.086
Fe) Y	2.132	1.800	1.893	1.792	2.017
Mn)	0.113	0.124	0.081	0.078	0.052
Mg)	2.582	3.001	2.515	3.004	2.439
Summe	5.076	5.359	5.043	5.202	5.420
Ca)	1.785	1.552	1.920	1.688	1.267
Na) X	0.347	0.399	0.352	0.303	0.362
K)	0.078	0.071	0.144	0.052	0.017
Summe	2.210	2.022	2.416	2.043	1.646

Tab. 17 : Fortsetzung

	III-65	III-70	III-60	II-32	II-38
SiO_2	45.97	52.39	51.86	53.09	54.42
Al_2O_3	6.28	4.04	3.39	0.39	-
TiO_2	1.35	0.21	0.64	0.32	0.17
FeO	17.43	16.18	11.33	10.18	17.38
MnO	0.39	0.68	0.55	0.54	0.66
MgO	13.48	12.67	18.02	18.48	14.58
CaO	11.08	11.26	12.63	10.71	9.39
Na_2O	1.70	1.67	0.68	1.33	0.11
K_2O	0.38	0.73	0.07	0.29	-
Summe	98.06	99.83	99.17	95.33	96.71
Anzahl der Kationen (bezogen auf O = 23, anhydrische Basis)					
Si) Z	6.872	7.557	7.373	7.789	8.019
Al)	1.105	0.443	0.564	0.070	-
Summe	7.977	8.000	7.937	7.859	8.019
Al)	-	0.242	-	-	-
Ti)	0.153	0.026	0.068	0.035	0.018
Fe) Y	2.183	1.950	1.350	1.251	2.142
Mn)	0.054	0.078	0.068	0.070	0.080
Mg)	3.000	2.721	3.819	4.035	3.195
Summe	5.390	5.017	5.305	5.391	5.435
Ca)	1.779	1.742	1.922	1.683	1.478
Na)X	0.494	0.468	0.188	0.379	0.035
K)	0.072	0.139	0.017	0.053	-
Summe	2.345	2.349	2.127	2.115	1.513

Der Austausch von Si durch Al zwischen 0.0 beim Tremolit bis zu 1.1 A/FE in der Hornblende ist gut erkennbar. Die Summe der Y-Gruppe variiert von 5.0 bis 5.4 A/FE mit hohem Magnesium-Gehalt. Nach der Anzahl der Kationen liegt der Austausch von Mg durch Fe^{2+} zwischen 24.66 und 46.51%. Der Mg-Gehalt in den Amphibolen nimmt im allgemeinen zu, wenn die Gesteine saurer werden.

Als Tschermak-Substitution bezeichnet man den Austausch von $(Mg, Fe^{2+})Si$ durch Al/Al möglicher Austausch in der Aktinolith-Reihe 0.00 bis 4.00 A/FE, d.h. von $Ca_2(Mg,Fe^{2+})_5Si_8O_{22}(OH)_2$ zu $Ca_2(Mg,Fe^{2+})_3Al_4Si_6O_{22}(OH)_2$. Dieser Austausch liegt in den untersuchten Amphibolen zwischen 0.0 und 1.53 A/FE. Mn ist in allen Gliedern der Amphibol-Gruppe mit 0.4 - 0.9 Gew.-% MnO vorhanden. Fe^{2+} und Mg zeigen eine Variation, die durch das Verhältnis $Fe_{tot}/Fe_{tot}+Mg$ ausgedrückt wird. Die $Fe_{tot}/Fe_{tot}+Mg$-Werte liegen zwischen 0.42 und 0.66 (Umrechnung von chemischen Analysen). Wegen der niedrigen $Fe_{tot}/Fe_{tot}+Mg$-Werte sind die untersuchten Amphibole calcische Amphibole. $Fe_{tot}/Fe_{tot}+Mg$ nimmt zu bei Mg-Abnahme (Abb. 55), Fe^{2+}- (Abb. 55), Al^{4} - und Ca-Zunahme. Die Aktinolith-Reihe (gestrichelte Linie) hat höhere Mg- und Fe^{2+}-Gehalte als die Hornblenden (punktiertes Feld).

Die Summe der X-Gruppe Ca+Na+k, mit hohen Ca-Gehalten, schwankt zwischen 1.5 und 2.4 A/FE, was durch die grossen Freiräume in der Struktur der calcischen Amphibole zu erklären ist. Die Ca-Werte (A/FE) in den untersuchten Amphibolen weisen auf calcische Amphibole nach der Einteilung von LEAKE (1965) hin.

Die optischen und chemischen Daten sind durch den Austausch von Mg und Fe^{2+} miteinander verknüpft. Mit zunehmendem Fe^{2+}-Gehalt werden die Werte für die Auslöschungsschiefe und den Achsenwinkel niedriger, und es steigen der Brechungsindex und die Doppelbrechung. Nur bei der Aktinolith-Reihe fällt die Doppelbrechung mit zunehmendem Fe^{2+}-Gehalt (TRÖGER 1969).

Die chemischen Analysen der untersuchten Amphibole zeigen hohe SiO_2-Gehalte mit Werten zwischen 45.97 und 54.42 Gew.-%. Die relativ niedrigen Werte für Al_2O_3 und TiO_2 in den untersuchten Amphibolen lassen auf niedrige Kristallisations-Temperaturen der Muttergesteine schliessen. Die hohen Werte von $Al^{[6]}$ (LEAKE 1965 bzw. $Al^{[6]}$ +Ti (HOLLOWAY und BURNHAM 1972) weisen auf hohen Druck während der Kristallisation hin. $Al^{[4]}$ +Ti nehmen mit steigender Temperatur

zu (VERHOOGEN 1962; ERNST 1968; HEIZ 1973). Der Al_2O_3-Gehalt in Amphibolen fällt mit Abnahme von SiO_2 (Abb. 56).

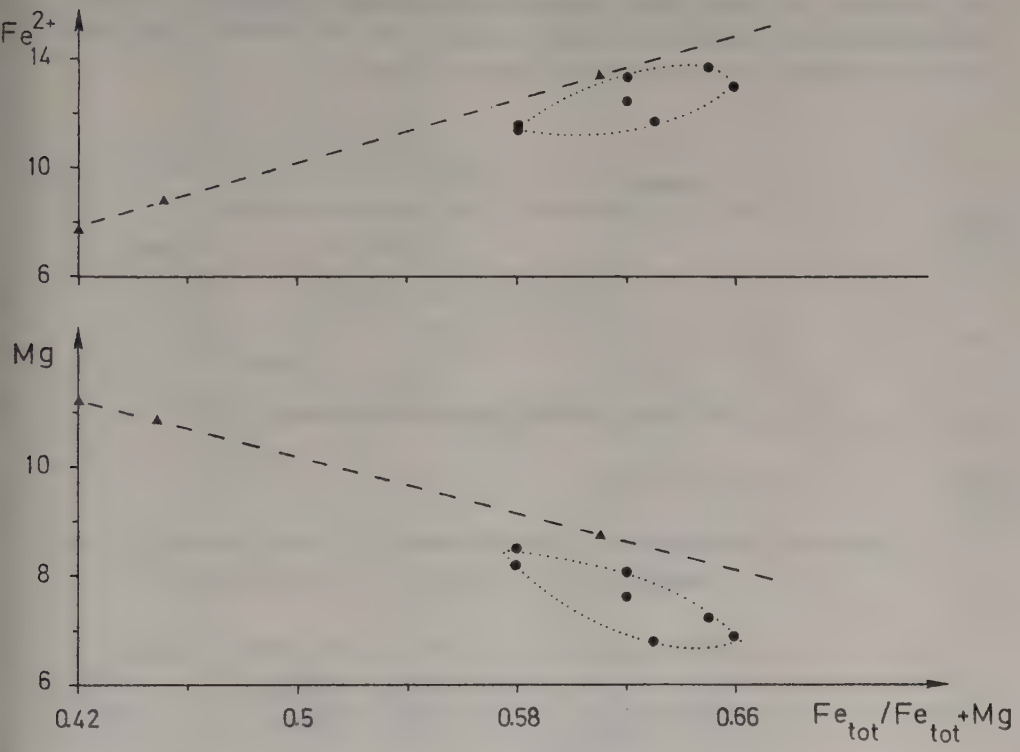


Abb. 55: Beziehung zwischen Mg und Fe^{2+} gegen $Fe_{tot}/Fe_{tot}+Mg$ in Amphibolen ecuadorischer Plutonite.

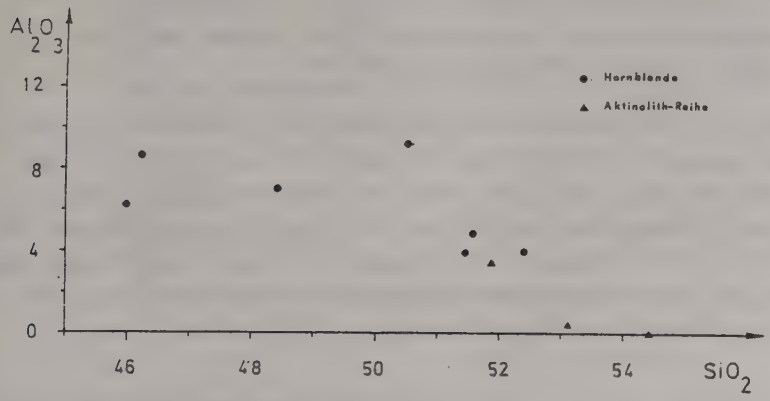


Abb. 56: Beziehung zwischen Al_2O_3 und SiO_2 (in Gew.-%) in Amphibolen ecuadorischer Plutonite.

Die Fraktionierung der Amphibole in den drei molekularen Verhältnissen 100Mg/(Mg+Fe), 100Si/(Si+Al) und 100Ca/(Ca+Na) ist in Abb. 57 dargestellt. Auch hier liegen die Hornblenden wieder in einem eng umgrenzten Feld (punktiert), wogegen die drei Aktinolithe deutlich herausfallen und sehr viel weiter streuen.

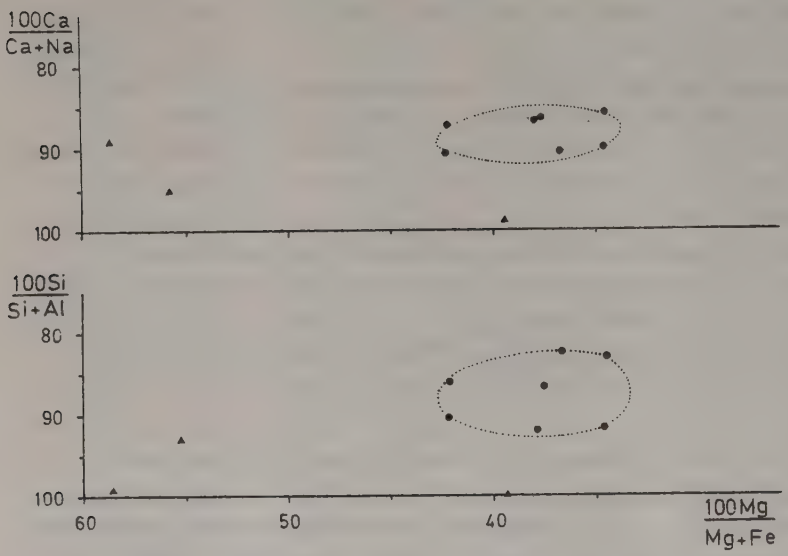


Abb. 57: Die Hauptelement-Fraktionierung von Hornblende und Aktinolith in den Diagrammen 100Ca/(Ca+Na) und 100Si/(Si+Al) gegen 100Mg/(Mg+Fe).

Die Änderung der chemischen Zusammensetzung der Amphibole in den Plutoniten, ausgedrückt durch die Atomzahl $Al^{[4]}$ als Funktion von Na + K (Abb. 58) bzw. $Al^{[6]}$ + Ti (Abb. 59) zeigt deutlich, dass es sich bei den untersuchten Amphibolen um solche der Hornblende- und der Aktinolith-Reihe handelt. Hornblende-Vertreter überwiegen. Dieser Befund ist in Einklang mit den Werten von DEER et al. (1974, Fig. 60, S. 168 und Fig. 61, S. 169).

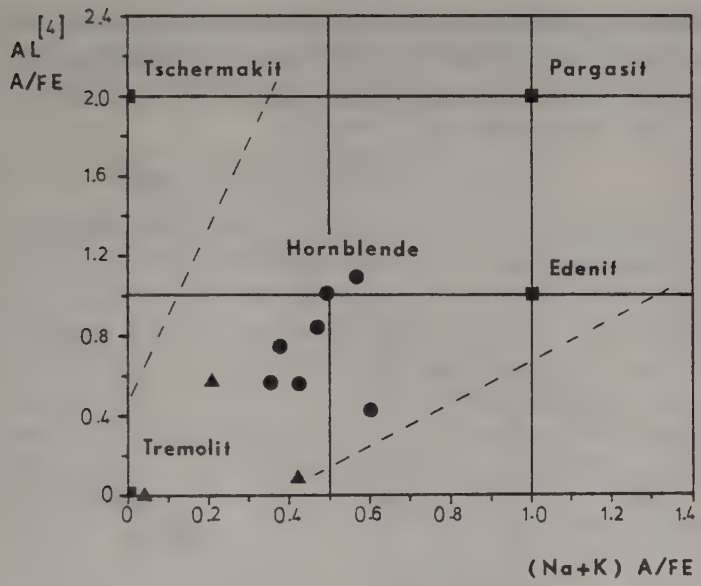


Abb. 58: Darstellung von Amphibolen aus plutonischen Gesteinen Ecuadors im $Al^{[4]}$ gegen (Na+K)-Diagramm.

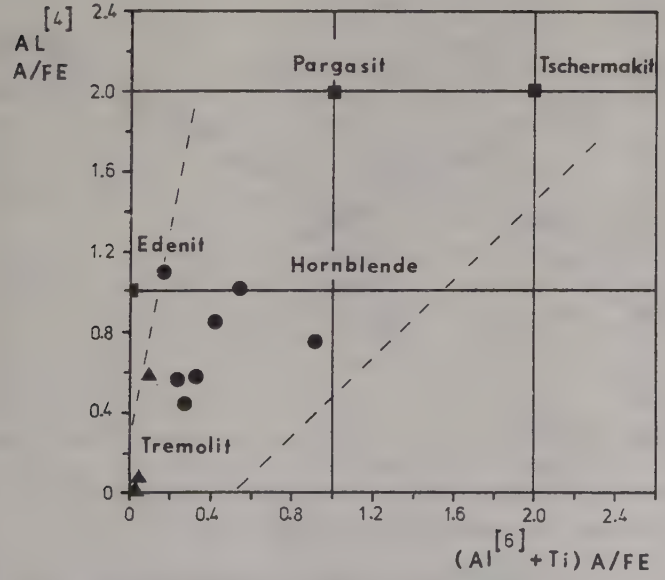


Abb. 59: Darstellung von Amphibolen im $Al^{[4]}$ gegen $(Al^{[6]}+Ti)$-Diagramm.

Eine weitere Einteilung der Amphibole erfolgt nach dem Vorschlag von LEAKE (1968), wobei die Z-Gruppe gegen die X-Gruppe (Abb. 60) dargestellt ist. Die untersuchten Amphibole sind Magnesium-Hornblende, tremolitische Hornblende und Tremolit.

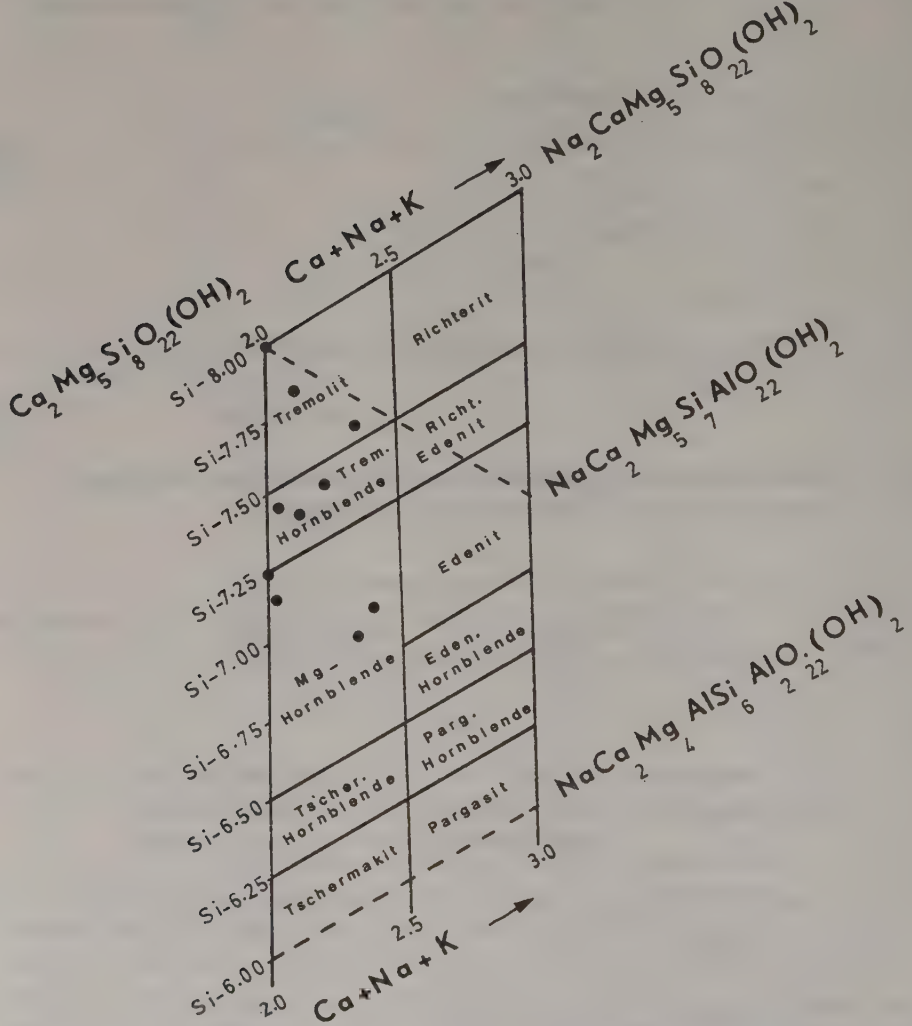


Abb. 60 : Darstellung von Amphibolen im Diagramm Z-Gruppe (Si 6 - 8) gegen X-Gruppe (Ca+Na+K) (nach LEAKE 1968).

Der Verteilungskoeffizient zwischen Amphibol und Biotit

Das Fe/Mg-Verhältnis ist im Biotit höher als im Amphibol, dies entspricht dem in vielen Kalkalkali-Gesteinen. Der Verteilungskoeffizient

$$K_D = \frac{Fe/Mg \quad Amphibole}{Fe/Mg \quad Biotite}$$

nach ALBUQUERQUE (1974; modifiziert nach KRETZ 1963 und HIETANEN 1971) ist in Abb. 61 dargestellt. Sie zeigt das Fe/Mg-Verhältnis für die koexistierenden Amphibole und Biotite. Der Verteilungskoeffizient K_D zwischen Amphibol und Biotit ist symmetrisch und niedrig (0.52 - 0.73) mit zwei Ausnahmen (0.93 und 1.45); der Durchschnitt liegt bei 0.77. Niedrige Verteilungskoeffizienten weisen nach ALBUQUERQUE (1974) auf relativ niedrige Temperaturen während der Kristallisation der ferromagnesium-haltigen Minerale hin.

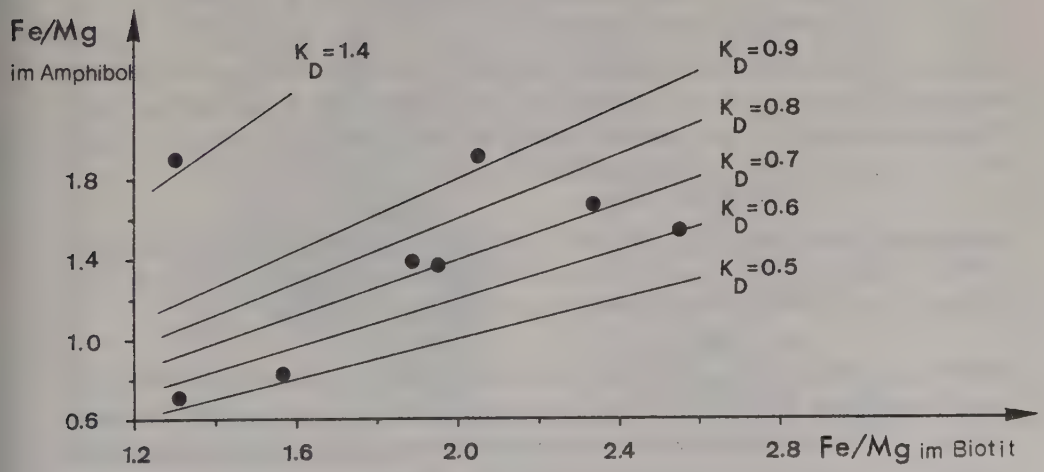


Abb. 61: Verteilungskoeffizient $K_D \left[\frac{Fe/Mg \text{ Amphibole}}{Fe/Mg \text{ Biotite}}\right]$ in plutonischen Gesteinen Ecuadors.

4. Absolute Altersbestimmungen

Dank einer Sachbeihilfe der DFG konnten sieben absolute Altersdatierungen von repräsentativen Plutonit-Proben nach auswärts in Auftrag gegeben werden (GEOCHRON Laboratories, Cambridge, Mass./USA). In Tab. 18 sind die geographische Lage, der Gesteinstyp, die analysierten Minerale, die analytischen Daten und die ermittelten K-Ar-Alter angeführt. Die Herkunft der Proben ist der Taf. 3 zu entnehmen; zwei Proben stammen aus dem Oriente, zwei aus der E-Kordillere, eine aus der W-Kordillere und zwei aus dem Küstengebiet. In Tab. 19 sind alle bislang publizierten Altersdaten von Plutoniten Ecuadors zusammengestellt.

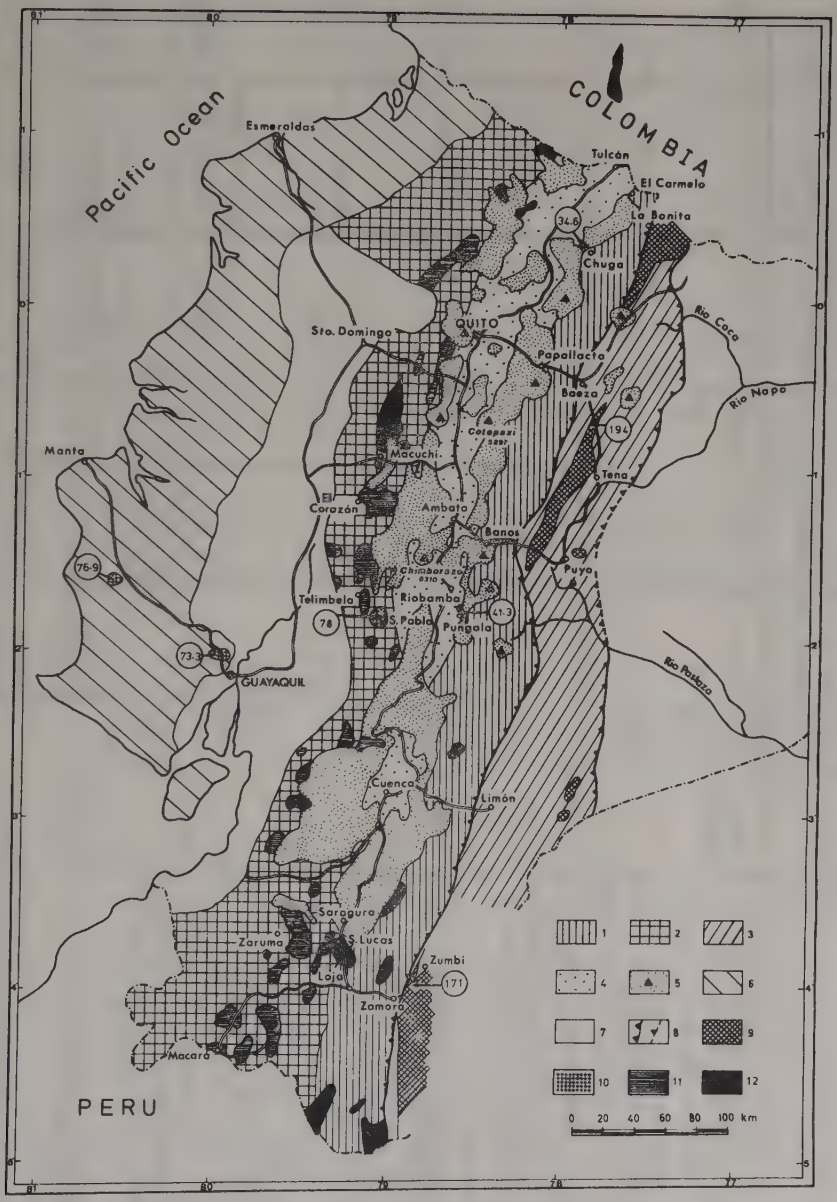
Die Datierungen waren notwendig, um eine Alterseinstufung der Intrusionen vornehmen zu können und somit ein genaueres Bild der geologischen Geschichte der Intrusionen in Ecuador zu erhalten. Nach den vorliegenden radiometrischen Altersbestimmungen lassen sich die Intrusionen in Ecuador in vier Phasen (I - IV) gliedern:

I: 195 - 170 Mill. Jahre (Lias bis Dogger)
II: 78 - 73 Mill. Jahre (Ober-Kreide/Senon)
III: 52 - 30 Mill. Jahre (Unteres Eozän bis Oberes Oligozän)
IV: 12 Mill. Jahre (Miozän).

Dank der sieben neuen Altersbestimmungen wird die Abfolge der Intrusionen im Oriente, der E-Kordillere, im Interandinen Graben und dem Küstengebiet klar, wohingegen das Alter der Intrusionen im Bereich der W-Kordillere noch problematisch bleibt.

Die Oriente-Plutone, die im ausser-andinen Gebiet liegen, sind durch Alter zwischen 195 und 170 Mill. Jahre gekennzeichnet. Dies ist die älteste und erste Intrusionsphase in Ecuador.

Der äusserste nördliche Körper (Cuchilla-Pluton) erstreckt sich bis nach Kolumbien und ist triassischen bis jurassischen Alters (ARANGO et al. 1976). Von diesem Pluton ist weder von der ecuadorischen noch von der kolumbischen Seite eine absolute Datierung vorhanden. Dieser Intrusiv-Körper ist wahrscheinlich der älteste Pluton in Ecuador



Taf. 3: K-Ar-Altersbestimmungen plutonischer Gesteine von Ecuador, Lokalisierung der Proben gemäß Tabelle 18.

Tab. 18 : Neue K-Ar-Alter plutonischer Gesteine Ecuadors.
Zerfallkonstanten von $K^{40}[\lambda\beta] = 4.72 \cdot 10^{-10}$/Jahr;
$K^{40}/K = 1.22 \cdot 10^{-4}$

Proben-Nummer	Lokalität	Gesteinstyp	Analys. Minerale	K (Gew.%)	K^{40} (ppm)	Radiogenes Ar^{40} (ppm)	Radiogenes Ar^{40}/Ges. Ar^{40}	K/Ar-Alter (Mill.Jahre)
I-1	Oriente, grosse Anschnitte längs der neuen Strasse Baeza-Tena, 10 km südl. d. Brücke über den Cosanga, Höhe 2160 m. Tena-Baeza-Pluton. 77°47'W/0°41'S	Leuco Monzogranit	Biotit	3.555	4.337	0.05183	0.777	194 ± 7.0
I-19	Oriente, 7 km nördl. der Hazienda Milagro (9 km nordöstl. von Zamora), Höhe 890 m. Zamora-Pluton. 78°50'W/3°58'S	Tonalit	Biotit	4.520	5.515	0.05789	0.810	171 + 6.0
II-28	E-Kord./Graben, Strasse Pinampiro-Chuga, 4,5 km südöstl. von Pinampiro, Höhe 1960 m. Chuga-Pluton. 77°56'W/1°40'N	Tonalit	Biotit	6.171	7.528	0.01538	0.699	34.6± 1.3
II-33	E-Kord./Graben, beim E-Werk von Pungala, Höhe 2780 m. Pungala-Pluton. 78°34'W/1°47'S.	Granodiorit	Biotit	6.950	8.479	0.02073	0.716	41.3± 1.6
III-70	W-Kord., San Pablo de Atenas, 1,7 km nördl. von Pueblo Las Guardias, Höhe 2740 m. Bilevan-Pluton. 79°3'W/1°48'S.	Tonalit	Biotit	5.001	6.101	0.02842	0.820	78.0± 3.0
IV-77	Küstengeb., Gomez-Pluton. 80°34'W/1°38'S	Tonalit	Hornblende	0.144	0.176	0.00081	0.222	76.9± 6.9
IV-79	Küstengeb., Pascuales, nördl. Guayaquil. Pascuales-Pluton. 79°55'W/2°3'S	Tonalit	Hornblende	0.292	0.356	0.00156	0.375	73.3± 4.8

Tab. 19 : Zusammenstellung aller vorliegenden K-Ar-Alter von Plutoniten aus Ecuador.

Lokalität	Gesteins-typ	Analys. Minerale bzw. Gest.	K-Ar-Alter (in Mill. Jahren)	Autoren
Oriente				
- Anschnitte längs der neuen Strasse Baeza-Tena, 10 km südl. d. Cosanga-Brücke, Höhe 2160 m (Tena-Baeza-Pluton).	Leuco Monzo-granit	Biotit	194 ± 7	Diese Arbeit
- Längs d. Strasse Baños-Mera, kurz vor d. Einmündung d. Rio Topo in d. Pastaza; 78°11'W/1°24'S (Tena-Baeza-Pluton.	Monzo-granit	Biotit	178 ± 7	HERBERT 1977
- Rio Zunac-Brücke nahe Abitagua, Strasse Baños-Puyo; 78°10'W/1°24'S (Tena-Baeza-Pluton).	Alkali-granit	Biotit	85 ± 7	HENDERSON 1979
- 7 km nördl. d. Hazienda Milagro (9 km nordöstl. Zamora), Höhe 890 m (Zamora-Pluton).	Tonalit	Biotit	171 ± 6	Diese Arbeit
E-Kordillere und Interandiner Graben				
- Nahe Pinampiro oberhalb Rio Chota (Chuga-Pluton).	Granit	Gesamt-gestein	72	EVERNDEN 1961
- Pinampiro-Chuga, 4,5 km südöstl. Pinampiro, Höhe 1960 m (Chuga-Pluton)	Tonalit	Biotit	34.6±1.3	Diese Arbeit
- Cola de San Pablo, 78°22'W/2°36'S (Amaluza-Pluton).	Grano-diorit	Biotit	34.0±1.3	HERBERT 1977
- Nahe dem E-Werk von Pungala, Höhe 2780 m (Pungala-Pluton).	Grano-diorit	Biotit	41.4±1.6	Diese Arbeit
- San Lucas, 79° 15'W/3°43'S (San Lucas-Pluton).	Grano-diorit	Biotit	52.1±2	HERBERT 1977

Tab. 19 : Fortsetzung

Lokalität	Gesteins-typ	Analys. Minerale bzw. Gest.	K-Ar-Alter (in Mill. Jahren	Autoren
W-Kordillere				
- Huapuloma, an der Strasse Guaranda-Balzapamba, 79°06'W/1°48'S (Telimbela-Pluton).	Hornblende-Biotit-Quarz-Diorit	Biotit	30.8±1	HENDERSON 1979
- do.	do.	Hornblende	19.2±3	do.
- San Pablo de Atenas, 1,7 km nördlich Pueblo Las Guardias, Höhe 2740 m (Bilevan-Pluton).	Tonalit	Biotit	78.0±3	Diese Arbeit
- Chaucha, 79°36'W/2°55'S (Chaucha-Pluton).	Granodiorit	Biotit	12.0	KENNERLEY 1973
- Chaucha, 79°35'W/2°58'S (Chaucha-Pluton).	Quarz-Monzonit-Porphyr, Nebengest.	Gesamtgest.	9.9-12	PUTZER 1976
- Macará, 2,5 km nördlich von Macará, an der Panamericana, 79°56'W/4°21'S (Cariamanga-Macará-Pluton).	Granodiorit	Biotit	48 ±2	KENNERLEY 1973
- do.	do.	Hornblende	111 ±30	do.
Küstengebiet				
- Nahe dem Dorf Gomez (Gomez-Pluton).	Tonalit	Hornblende	76.9±6.9	Diese Arbeit
- Pascuales, nördlich von Guayaquil (Pascuales-Pluton).	Tonalit	do.	73.3±4.8	do.

(jurassisch). Aus dem nördlichen Teil des Tena-Baeza-Plutons stammt das bislang höchste absolute Alter im Oriente bzw. in Ecuador mit 194 ± 7 Mill. Jahren. 100 km weiter südwestlich, ebenfalls aus dem Tena-Baeza-Pluton, stammt die von HERBERT (1977) publizierte Datierung mit 178 ± 7 Mill. Jahren. Eine Datierung des Zamora-Pluton im Süden des Oriente ergab ein Intrusionsalter von 171 ± 6 Mill. Jahren.

Das Alter von 171 ± 6 Mill. Jahren für den Zamora-Pluton deutet darauf hin, dass zu jener Zeit im Oriente gewaltige Intrusionen stattfanden. Möglicherweise besteht zwischen dem Zamora- und dem Tena-Baeza-Pluton unterirdisch eine Verbindung, so dass es sich um ein und denselben Batholith handelt.

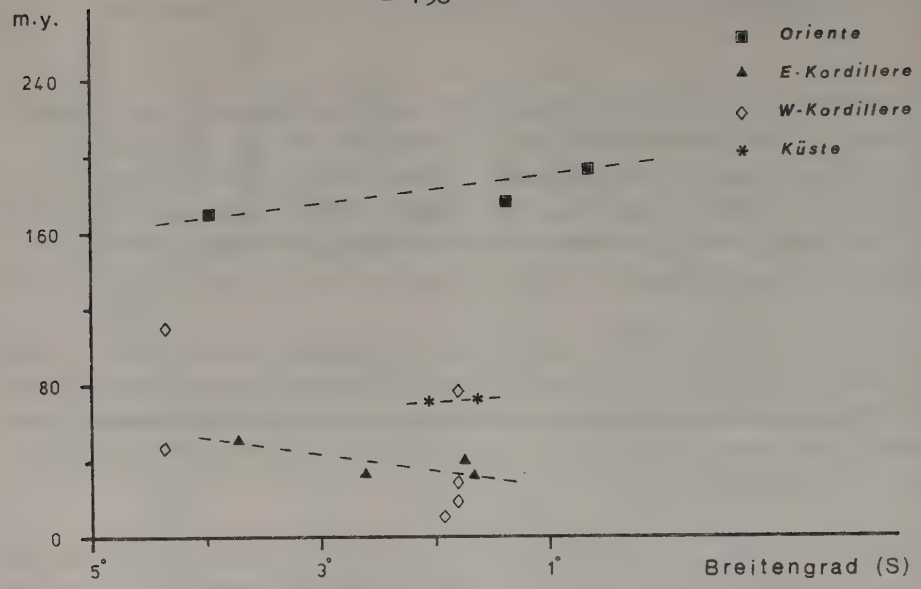
Das Alter von 194 ± 7 Mill. Jahren des nördlichen Teils des Tena-Baeza-Plutons ist konform dem Alter von 178 ± 7 im südlichen Teil desselben Plutons (HERBERT 1977). Das von HENDERSON (1979) mitgeteilte Alter von 85 ± 7 Mill. Jahren aus dem südlichen Teil dieses Plutons ist mit ziemlicher Sicherheit zu jung.

SAUER (1971, S. 181) schrieb dem Abitagua-Granit (= Tena-Baeza-Pluton) noch alttertiäres Alter zu; er brachte diesen Pluton mit der laramischen Orogenese in Verbindung. Nach den absoluten Datierungen ist er jedoch mit Sicherheit altjurassischen Alters, d.h. er ist vor der laramischen Orogenese intrudiert.

Das Alter der plutonischen Gesteine im Oriente nimmt von Nord nach Süd und von Ost nach West etwas ab (Abb. 62).

Das von TSCHOPP (1948) angenommene jurassische Alter der östlichen Randkette, die nach diesem Autor aus Porphyriten und granitischen Intrusiv-Körpern besteht, hat sich durch die absoluten Altersbestimmungen bestätigt. Damit ist die von TSCHOPP (1956) angenommene Beziehung dieses Granits zu den Porphyriten der Misahualli-Formation erwiesen und die Ansicht von SAUER (1971) widerlegt, der den Abitagua-Granit mit der laramischen Orogenese in Verbindung brachte.

Die Plutonit-Alter aus dem Bereich der E-Kordillere und des Interandinen Grabens liegen zwischen 52 und 34 Mill. Jahren.



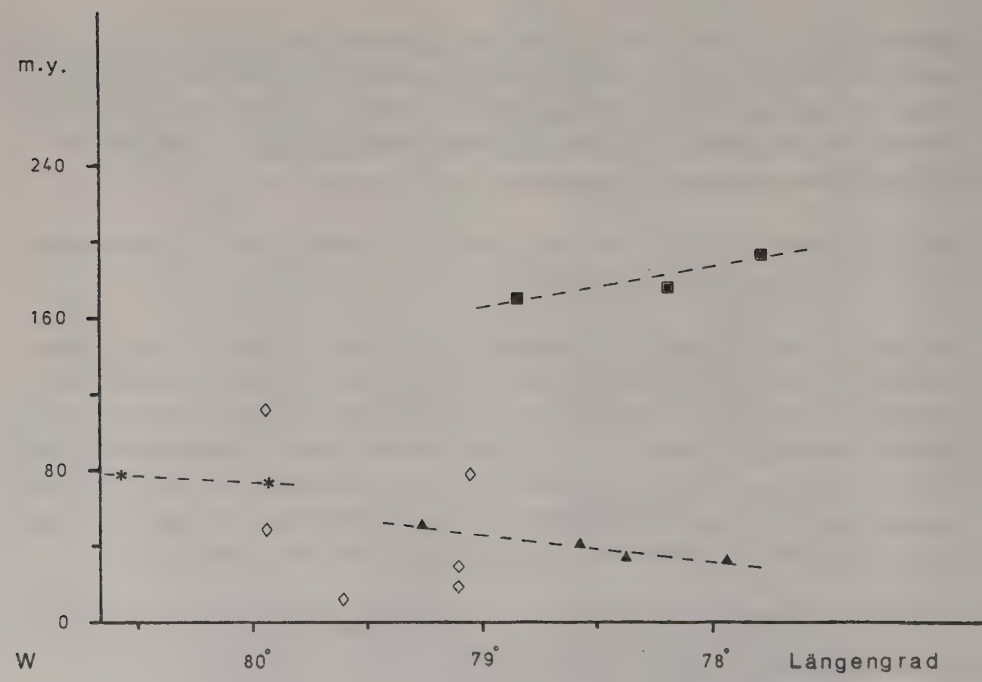


Abb. 62: Altersdatierung der ecuadorischen Plutonite nach dem Breitengrad (obere Figur) und dem Längengrad (untere Figur).

Das Alter der Intrusionen verhält sich zu dem des Oriente entgegengesetzt, es nimmt von Ost nach West und von Nord nach Süd zu (Abb. 62). Die älteste Intrusion in der E-Kordillere ist der Granodiorit von San Lucas, der ein Alter von 52.1 ± 2 Mill. Jahren aufweist. Der Granodiorit des Pungala-Plutons besitzt ein Alter von 41.3 ± 1.6 Mill. Jahren. Die beiden Plutone bestehen hauptsächlich aus Granodiorit; später intrudierten annähernd gleichzeitig im unteren Oligozän tonalitische Schmelzen, nämlich der Amaluza-Pluton (34 ± 1.3 Mill. Jahre) und der Chuga-Pluton (34.6 ± 1.3 Mill. Jahre).

Das von EVERNDEN (1961) veröffentlichte Alter von 72 Mill. Jahren für den Chuga-Pluton ist deshalb nicht gerechtfertigt, weil die Plutone der E-Kordillere bzw. des Interandinen Grabens nach der Kreide intrudiert sind. Bislang gibt es keine Hinweise für kretazische Intrusionen in der E-Kordillere.

Das Intrusionsalter der Plutonite der W-Kordillere ist noch problematisch. Nach COTECCHIA & ZEZZA (1969) sind die Intrusionen kretazisch bis postkretazisch. Dies dürfte für einen Teil der Plutone der W-Kordillere zutreffen, gilt jedoch nicht für das gesamte Gebirge.

Die Altersbestimmungen ergaben verschiedene Alter. Der Maldonado-Pluton in der W-Kordillere S-Kolumbiens, nahe der ecuadorischen Grenze, ist tertiären Alters (CEDIEL et al 1976). Tertiäre Alter zeigen auch eine Reihe anderer Intrusiv-Körper, z.B. der Macará-Pluton, von dem zwei Altersbestimmungen vorliegen, nämlich 111 ± 30 Mill. Jahre für eine Hornblende- und 48 ± 2 Mill. Jahre für eine Biotit-Datierung (KENNERLEY 1973). Nimmt man das jüngere Alter als repräsentativ an, wie dies KENNERLEY getan hat, so würde das dem Eozän entsprechen. Auch von Proben des Telimbela-Plutons existieren zwei, wiederum differierende Alter(HENDERSON 1979). Das Biotit-Alter liegt bei 30.8 ± 1 Mill. Jahren, das für Hornblende bei 19.2 ± 3 Mill. Jahren. HENDERSON bevorzugt das jüngere Alter, das unterem Miozän entspricht. Der Macuchi-Pluton wird aufgrund seiner Kupfer-Vererzung ebenfalls ins Tertiär gestellt (PUTZER 1976). Der Chaucha-Pluton gehört zur vierten (und bislang jüngsten) Intrusions-Phase; sein Alter repräsentiert bis jetzt die jüngste Intrusion in Ecuador, nämlich 12 Mill. Jahre (Biotit-Alter; bestimmt von SNELLING, zitiert in

KENNERLEY 1973). Diese Datierung entspricht der Altersangabe bei PUTZER (1976), der die Kupfer-Vererzung mit 12 bis 9.9 Mill. Jahren ansetzt.

Im Gegensatz zu diesen tertiären Altern ergab die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Datierung des Bilevan-Plutons ein ober-kretazisches Alter, nämlich 78 ± 3 Mill. Jahre. Das entspricht den Altern der Intrusionen im Küstengebiet.

Die alters-datierten Plutonit-Proben aus dem Küstengebiet ergeben Werte zwischen 76 und 73 Mill. Jahren. Die Küstengebiet-Plutone gehören damit zur zweiten Intrusions-Phase in Ecuador (78 - 73 Mill. Jahre, das entspricht Oberer Kreide, und zwar Senon).

Zwei neue K/Ar-Altersbestimmungen an Hornblenden haben für den Gomez-Pluton 76.9 ± 6.9 Mill. Jahre und für den Pascuales-Pluton bei Guayaquil 73.3 ± 4.8 Mill. Jahre erbracht. Der nördliche und westlicher gelegene ist älter als der südliche und östlicher befindliche Plutonit-Körper (Abb. 62). 130 km weiter östlich, in der geographischen Breite zwischen den beiden datierten Intrusions-Körpern gelegen, ist zur selben Zeit der Bilevan-Pluton in der W-Kordillere intrudiert (78 ± 3 Mill. Jahre).

Acht K-Ar-Alter der BIC-Vulkanite des Küstengebietes, die GOOSSENS & ROSE (1973) publizierten, liegen zwischen 110 und 54 Mill. Jahren mit einer Häufung der Werte zwischen 85 und 65 Mill. Jahren. PICHLER et al. (1974) nehmen für die BIC-Vulkanite einen Kreide-Alttertiär-Inselvulkanismus vor der damaligen Küste Südamerikas an. Aeromagnetische Vermessungen zeigten eine starke, östlich-streichende magnetische Anomalie, die mächtigen basaltischen Serien entsprechen könnte (GOOSSENS & ROSE 1973). Innerhalb der BIC-Komplexe, vor allem im Bereich der W-Kordillere, setzen eine Reihe von z.T. sehr ausgedehnten plutonischen Körpern auf. Die BIC-Vulkanite der W-Kordillere sind zur Hauptmasse ober-kretazischen Alters und sollen nach COTECCHIA & ZEZZA (1969) den initialen Magmatismus repräsentieren. Altersmässig ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit der neuen Datierung eines Plutons in der W-Kordillere, die ebenfalls oberkretazisches Alter erbrachte (Bilevan-Pluton).

In diesem Zusammenhang sei auf eine Altersdatierung von BIC-Vulkaniten aus dem Bereich des Interandinen Grabens hingewiesen. Nach COTECCHIA & ZEZZA (1969) haben die grünen BIC-Vulkanite, die am E-Rand des Grabens bei Ambato anstehen, und die anscheinend das Basement grosser Teile des Grabens bilden, ein Alter von 51.5 ± 2.5 Mill. Jahren, das entspricht Eozän. Die neuen Plutonit-Alter von Intrusionen am E-Rand des Grabens ergaben Werte zwischen 40 und 30 Mill. Jahren. Das jüngere, oligozäne Alter spiegelt möglicherweise den beginnenden Einbruch des Grabens wider.

Zwischen den BIC-Vulkaniten und den zugehörigen Plutoniten liegt damit auch zeitlich eine enge Verwandtschaft vor. Ebenso bestehen enge genetische Zusammenhänge zwischen beiden Gesteinskomplexen (s. dazu Kap. 3.1.).

5. Vergleich mit anderen Plutonit-Körpern der Anden und der S-Alpen

Die E-Kordillere Ecuadors wird, aufgrund der ähnlichen Tektonik und des vergleichbaren Gesteinsbestandes, als die südliche Verlängerung der Zentral-Kordillere Kolumbiens angesehen (TSCHOPP 1948; SAUER 1971; CAMPBELL 1974). SAUER (1971) spricht von der "nordandinen Kardinalkordillere", die sich von der N-Küste Kolumbiens bis nach NW-Peru erstreckt. Die E-Kordillere Ecuadors und die Zentral-Kordillere Kolumbiens bilden zusammen gleichsam die kristalline Achse des nördlichen Anden-Gebirges.

Ungefähr 15% der Oberfläche der Anden - nämlich 465.000 km^2 - werden von plutonischen Gesteinen eingenommen (GANSSER 1973). Bis in eine Tiefe von 5 km gerechnet, würde die Plutonite ein Volumen von ungefähr 2.325.000 km^3 umfassen.

Granite machen nur einen relativ geringen Prozentsatz der mesozoischen und känozoischen Intrusiv-Körper der Anden-Plutone aus (COBBING PITCHER 1972). Die Hauptmasse der Intrusiva besteht aus Granodiorit und Tonalit, untergeordnet aus Diorit bis Gabbro. Die Anden-Plutonite gehören fast ausschliesslich der Kalkalkali-Reihe an (ZEIL 1979, Abb. 23, 24, S. 39/40).

Im Folgenden sind petrologische und radiometrische Daten von Plutoniten aus

5.1. Kolumbien (Nord-Anden)
5.2. Peru (Zentral-Anden)
5.3. Bolivien (Zentral-Anden)
5.4. Chile (Zentral- und Süd-Anden)

zusammengestellt und interpretiert. Anhand der vorliegenden Gesteinsanalysen wurden normative Berechnungen durchgeführt und gemäss dem STRECKEISEN-System die Namengebung der Plutonite vorgenommen. Zum Vergleich werden die Plutonite der Anden im QAPF-Doppeldreieck und im K_2O/SiO_2-Diagramm dargestellt (Kap. 5.5).

Eine diagrammatische Übersicht über die Haupt-Intrusionsphasen der andinen Plutonite findet man in Abb. 63.

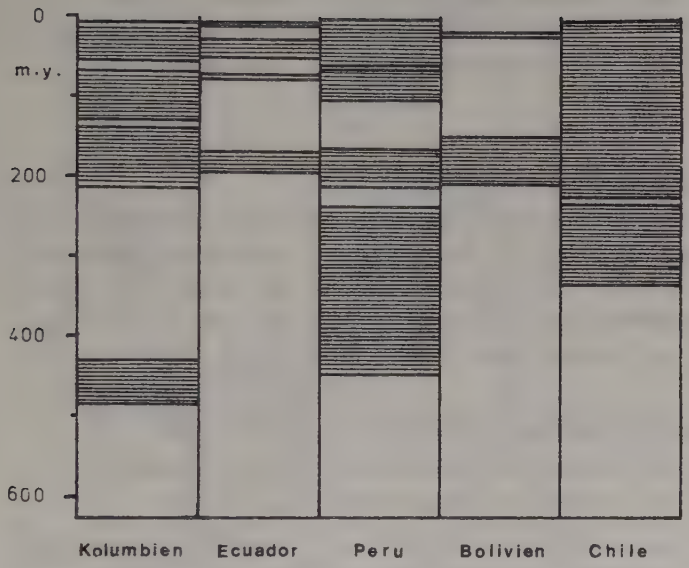


Abb. 63 : Die Altersstellung der plutonischen Gesteine in den Andenländern.

5.1. Altersstellung und geographische Verbreitung kolumbischer Plutonite

Nach der geologischen Übersichtskarten von Kolumbien (1976a, b) gibt es in diesem Land fünf Plutonit-Komplexe, die verschiedene Alter haben (Abb. 63). Diese nehmen von Osten nach Westen ab (Taf. 4).

1) Präkambrische Plutonite (> 1000 m.y.)

Sie treten nur in der Ost-Kordillere in einem kleinen Gebiet südwestlich von Florencia auf und zeigen NE--SW-Streichen. Sie bestehen hauptsächlich aus Quarz-Monzonit. Der Granit vom Rio Guaviare (230 Meilen östlich von Serrania, 70°43'W / 3° N) ist nach PINSON et al. (1962) 1205 ± 60 m.y. alt.

2) Paläozoische (ordovizische) Plutonite (485 - 430 m.y.)

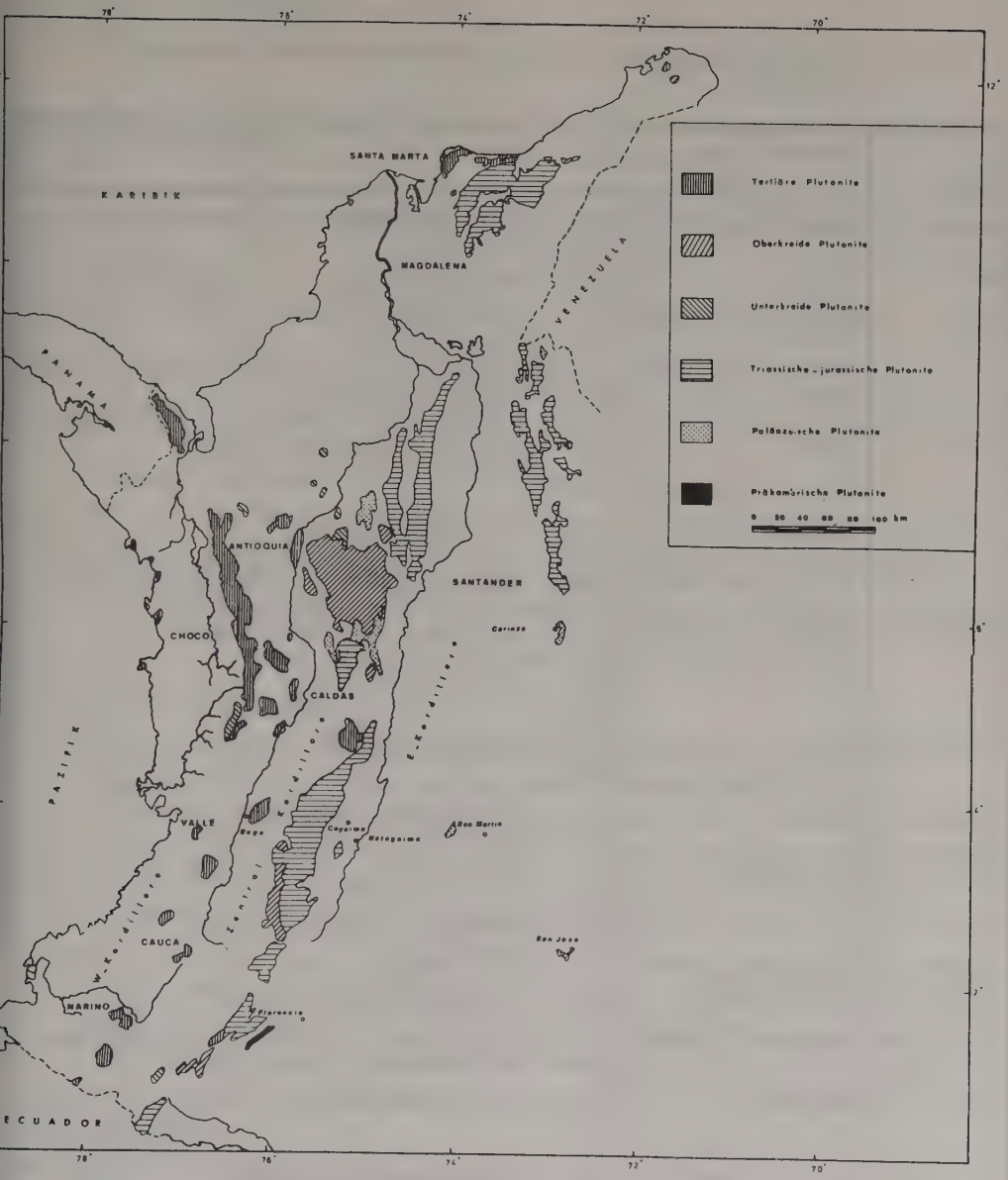
a) 30 km westlich von San Martin befindet sich ein kleiner Körper, der aus Gabbro und Diorit besteht.

b) Östlich von Cerinza liegt ein kleinerer Intrusiv-Körper, der aus Syenit und Nephelin-Syenit zusammengesetzt wird. Südlich von San José (72°38' - 72°43' W und 2°27' - 2°30' N) haben 5 Alkali-Syenit-Plutone Alter zwischen 485 ± 25 - 445 ± 22 m.y., mit einem Mittelwert von 465 ± 23 m.y. (PINSON et al. 1962).

c) Im nördlichen Teil der Ost-Kordillere gibt es einen, in der Zentral-Kordillere mehrere Plutonit-Körper, die aus Quarz-Diorit bestehen.

3) Triassische bis jurassische Plutonite (215 - 140 m.y.)

Sie sind im nördlichen Teil der Ost-Kordillere bis 6° N-Breite sowie in der gesamten Zentral-Kordillere, von der südlichen Landesgrenze bis zum äussersten Norden, als einzelne NE--SW streichende Körper verbreitet. Diese Plutonite werden überwiegend von Quarz-Diorit und Granodiorit bis Quarz-Monzonit zusammengesetzt. Mineralogisch bestehen sie aus Quarz, Na-Plagioklas, kleinen Mengen von Kalifeldspat, Hornblende und Biotit. Ihre Alter sind in den folgenden Tabellen zusammengestellt.



af. 4: Vorkommen plutonischer Gesteine in Kolumbien nach der Mapa Geológico de Colombia (ARANGO et al. 1976).

Tab. 20 : Alter und Vorkommen triassisch-jurassischer Plutonite Kolumbiens.

Alter in m.y.	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
215 ± 7*)	Quarz-Monzonit	Amagá, 20 km SW Medellin, Zentral-Kord.	PEREZ 1967
196 ± 7	do.	Aguablanca-Batholith, E-Kord., 72°54'W/8°09'N.	GOLDSMITH et al. 1971
195 ± 7	do.	La Corcova, E-Kord., 73°03'W/7°08'N.	do.
194 ± 7	do.	Santa-Barbara-Batholith, E-Kord., 72°54'W/6°53'N.	do.
193 ± 6	Granit	Pescadero, Mogotes-Batholith, E-Kord., 72°59'W/6°48'N.	do.
192 ± 7	Quarz-Monzonit	Santa-Barbara-Batholith, E-Kord., 72°56'W/6°55'N.	do.
179 ± 8	do.	Pueblo Bello-Batholith, E-Kord., 73°35'W/10°28'N.	TSCHANZ et al. 1974
176 ± 7	Granodiorit	Granodiorit-Körper in der Los Clavos Formation, E-Kord., 73°21'35"W/10°23'20"N.	do.
176 ± 7	do.	Patillal-Batholith, E-Kord., 73°13'33"W/10°51'33"N.	do.
174.5±10	do.	Zentral-Batholith, E-Kord., 73°27'27"W/11°03'07"N.	do.
173.7± 6	Quarz-Monzonit	Patillal-Batholith, E-Kord., 72°59'W/11°08'N.	do.
172 ± 6	do.	Ojeda-Batholith, E-Kord., 73°45'W/10°40"N.	do.
166 ± 6	Granodiorit	Aracataca-Batholith, E-Kord., 73°58'W/10°34'N.	do.
160 ±30	Riebeckit-Granit	Santander, E-Kord., 73°16'W/7°39'N.	GOLDSMITH et al. 1971
160 ± 7	Diorit	Monte Cristo, Zentral-Kord.	Schriftl. Mitt. von MARVIN 1968 in: FEININGER et al. 1972, S. 83.
160 ± 7	do.	In d. Nähe von Virginias, Zentral-Kord.	FEININGER et al. 1973
		Puerto Berrio-Medellin Str., Zentral-Kord.	

*) In den geologischen Übersichtskarten (1976a, b) ist dieser Intrusiv-Körper als Tertiär angegeben.

Tab. 20: Fortsetzung

Alter in m.y.	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
160	Diorit	Sonsón, Zentral-Kord.	GONZALEZ 1976
160	do.	Cabanas, Zentral-Kord.	FEININGER et al. 1972
143 ± 9	Quarz-Diorit	Ibagué-Batholith, Zentral-Kord.	BARRERO & VESGA 1976
138 ± 5	Trondhjemit	Don Diego-Pluton, E-Kord., 73°47'40"W/11°1'20"N.	TSCHANZ et al. 1974

Von diesen Gesteinen liegen zwei chemische Gesteinsanalysen vor (Tab. 22, Nr. 1, 2):

Nr. 1: Quarz-Monzodiorit von Media Luna, südwestlich von Coyaima (LEHMANN 1911, S. 249, Nr. I, "Quarz-Monzonit").

2: Quarz-Monzonit aus der Quebrada de Tiurco, östlich Natagaima (LEHMANN 1950, S. 12, "Quarz-Monzonit").

4) Kretazische Plutonite (130 - 68 m.y.)

a) Die Oberkreide-Plutonite treten im mittleren Teil der Zentral-Kordillere sowie etwas weiter südlich davon auf. Sie sind unmittelbar westlich der triassisch-jurassischen Plutonite verbreitet und bestehen aus Granodiorit und Quarz-Diorit. Mineralogisch setzen sie sich aus Quarz, Kalifeldspat, Na-Plagioklas, Biotit und Hornblende zusammen. Gabbro kommt sehr selten vor.

b) Die Unterkreide-Plutonite sind durch ultrabasische bis basische Gesteinstypen, wie Peridotit, Harzburgit, Pyroxenit, Dunit und Gabbro, gekennzeichnet. Sie haben ähnliche Verbreitung wie die ober-kretazischen Plutonite. Es handelt sich um relativ kleine Körper, die etwas weiter westlich der Oberkreide-Plutonite zutage treten.

Von den kretazischen Plutoniten gibt es vier chemische Hauptelement-Analysen (Tab. 22, Nr. 3 - 6):

Nr. 3, 4: Pyroxen-Hornblendit aus der Umgebung von Cristales (FEININGER et al. 1972, S. 108, "Pyroxenit").

5: Tonalit, 1 km nordöstlich Cristales (FEININGER et al. 1972, S. 101, Nr. 2, "Quarz-Diorit").

6: Granodiorit, Rio El Socorro, 1,1 km südwestlich Cristales (FEININGER et al. 1972, S. 101, Nr. 1, "Quarz-Diorit").

Tab. 21: Alter und Vorkommen kretazischer Plutonite Kolumbiens.

Alter in m.y.	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
131 ± 9 x)	Gabbro	Pueblito, Dept. Antioquia, Zentral-Kord., 75°45'W/ 6°10'N.	TOUSSAINT & RESTREPO 1976
131 ± 4	Granodiorit	Sierra de Santa Marta, Rio Sevilla, E-Kord.	IRVING 1975
113 ±10 xx)	Tonalit	Buga, Dept. Valle, Zentral-Kord., 76°8'W/3°52'N.	TOUSSAINT et al. 1978
97 ±10	Quarz-Diorit	Sabanalarga, Dept. Antioquia, Zentral-Kord., 75°49'19"W/ 6°48'10"N.	GONZALEZ et al. 1978
95.6±3.3	do.	Pescado, Dept. Antioquia, E-Kord.	IRVING 1975
92 ±4.2 xx)	Gabbro	Altamira, Dept. Antioquia, Zentral-Kord., 75°53'W/ 6°13'N.	TOUSSAINT & RESTREPO 1976
91.1±6.4	Tonalit	Buriticá, Dept. Antioquia, Zentral-Kord.	GÖBEL & STIBANE 1979
79 ±3.3	?	50 km nördl. Medellin, Dept. Antioquia, Zentral-Kord.	BOTERO 1963
73	Diorit	do.	PEREZ 1967
69 ± 3	Quarz-Diorit	Sonsón-Dorada Strasse, SW Argelia, Zentral-Kord.	do.
68 ± 3	do.	Quebrada Doncella, 5 km E Maceo, Zentral-Kord.	Schriftl. Mitt. von GILETTI 1967 in: FEININGER et al. 1972, S. 115

x) Ein Jahr früher haben die gleichen Autoren (RESTREPO & TOUSSAINT 1975) weniger Jahre für die gleichen 2 Gabbro angegeben, nämlich 126 + 12 Gabbro (Pueblito) und 77.4 + 7.7 Gabbro (Altamira).

xx) In den geologischen Übersichtskarten (1976a, b) ist dieser Intrusiv-Körper als Tertiär angegeben.

5) Tertiäre Plutonite (54 - 8 m.y.)

Diese sind ausschliesslich auf die W-Kordillere beschränkt. Sie bestehen aus hornblende-führendem Diorit, Quarz-Diorit und Tonalit. Kleine Körper tertiärer Peridotite, Pyroxenite und Gabbros kommen sehr selten vor; sie liegen nahe dem Pazifischen Ozean.

TAB. 22. MESOZOISCHE PLUTONITE - KOLUMBIEN

MAJOR ELEMENTS	1	2	3	4	5	6
SIO2	56,32	59,55	46,10	52,10	62,50	63,60
AL2O3	17,30	16,65	12,20	5,60	15,20	16,20
FE2O3	3,88	3,63	1,80	1,40	1,70	1,90
FEO	4,32	2,52	8,80	11,40	4,00	3,00
MNO	0,13	0,07	0,02	0,09	0,38	0,15
MGO	2,61	3,08	17,80	21,30	4,20	2,60
CAO	4,78	2,31	10,30	6,40	6,60	6,20
NA2O	2,91	4,21	0,96	0,32	2,80	3,20
K2O	4,37	4,71	0,18	0,08	1,30	2,00
TIO2	0,72	0,94	0,29	0,39	0,58	0,41
P2O5	0,47	0,23	0,02	0,04	0,27	0,12
CO2	-	0,21	-	-	0,05	0,06
ZRO2	-	0,04	-	-	-	-
H2O	1,49	1,52	1,17	0,80	0,56	0,58
TOTAL	99,30	99,67	99,64	99,92	100,14	100,02
CIPW NORM						
Q	8,1	8,6	-	-	20,3	20,3
OR	25,8	27,8	1,1	0,5	7,7	11,8
AB	24,6	35,6	8,1	2,7	23,7	27,1
AN	20,6	8,6	28,4	13,6	25,1	23,9
DI	-	-	18,0	14,4	4,5	4,6
HY	10,3	7,9	13,3	64,2	13,9	7,8
OL	-	-	26,3	0,9	-	-
MT	5,6	5,3	2,6	2,0	2,5	2,8
IL	1,4	1,8	0,6	0,7	1,1	0,8
AP	1,1	0,5	0,0	0,1	0,6	0,3
Z	-	0,1	-	-	-	-
C	0,2	1,5	-	-	-	-
CC	-	0,5	-	-	0,1	0,1
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)						
QUARTZ	15,0	13,4	7,4	8,3	25,3	22,2
ORTHOCLASE	17,0	23,1	-	-	2,4	11,1
PLAGIOCLASE	44,6	41,0	-	-	46,8	40,4
ORTHOPYROXENE	-	-	16,7	38,2	1,2	-
AMPHIBOLE	-	-	74,3	51,8	13,8	13,5
BIOTITE	21,2	20,4	-	-	8,4	2,0
TITANITE	-	-	0,2	0,2	0,3	0,3
MAGNETITE	1,3	1,0	1,3	1,2	1,1	1,0
ILMENITE	-	0,2	0,1	0,2	-	-
APATITE	1,0	0,5	-	0,1	0,5	0,2
CALCITE	-	0,5	-	-	0,1	0,1
COLOUR INDEX	23,4	22,5	92,6	91,7	25,4	17,3
Q COORDINATES	19,5	17,3	100,0	100,0	34,0	26,8
A STRECKEISEN	22,2	29,8	-	-	3,2	13,5
P DOUBLE-	58,2	52,9	-	-	62,8	59,7
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	4,0	4,8	0,4	0,0	0,9	1,3
TAU RITTMANN	12,1	10,6	36,3	12,3	14,6	24,5

Tab. 23: Alter und Vorkommen tertiärer Plutonite Kolumbiens.

Alter in m.y.	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
54 ±2.2	Granodiorit	Tucuringuita-Pluton, E-Kord., 74°04'40"W/10°40'10"N.	TSCHANZ et al. 1974
50.5±2.6	Quarz-Diorit	Santa Marta, E-Kord.	TSCHANZ et al. 1969
49.1±1.7	Granodiorit	Bosque, nördl. Ibague, Zentral-Kord.	BARRERO & VESGA 1976
48.7±1.9	Quarz-Diorit	Buritica-Pluton, E-Kord., 73°44'W/11°11'N.	TSCHANZ et al. 1974
48 ± 4	do.	Guajiva Peninsula, NE Sierra Nevada de Santa Marta, Parashi, E-Kord.	LOCKWOOD 1965
47.1±2.5	Tonalit	E Quibdó, Dept. Chocó, W-Kord.	GÖBEL & STIBANE 1979
46.5±1.6	Quarz-Diorit	Santa Marta-Batholith, E-Kord., 73°56'30"W/11°17'N.	TSCHANZ et al. 1974
34	?	Mandé, W-Kord.	BOTERO 1975
30 ±1.9	Tonalit	Piedrancha, W Tumaco, Dept. Nariño, W-Kord.	GÖBEL & STIBANE 1979
23 ± 3	Granodiorit	Piedrancha, Dept. Nariño, W-Kord., 77°48'W/1°5'S.	ALVAREZ & LINARES 1979b
30	do.	Los Alisales, Dept. Nariño, W-Kord.	BOTERO 1975
25 ± 10	Tonalit	Arboledas, Dept. Nariño, W-Kord., 77°12'9"W/1°33'15"N.	ALVAREZ & LINARES 1979b
20.8±1.1	Tonalit	El Danubio, E Buenaventura, Dept. Valle, W-Kord.	GÖBEL & STIBANE 1979
16.5±0.8	do.	Paso de Bobo, SW Suarez, Dept. Cauca, W-Kord.	do.
11	?	Urrao , W-Kord.	BOTERO 1975
8 ± 3	Tonalit	De la Vega, Dept. Cauca, W-Kord., 76°50'W/2°3'N.	ALVAREZ & LINARES 1979a
6 ± 1	do.	Suarez Stock, Dept. Cauca, W-Kord., 76°41'W/2°55'30"N.	ALVAREZ et al. 1978

5.2. Altersstellung und geographische Verbreitung peruanischer Plutonite.

In Peru sind plutonische Gesteine in der E-, W- und in der Küsten-Kordillere verbreitet. STEINMANN (1929) und BELLIDO et al. (1956) unterschieden lediglich zwei Plutonit-Komplexe, nämlich: 1. vormesozoische und 2. tertiäre Plutonite (STEINMANN) bzw. 1. vorkretazische und 2. kretazische-tertiäre Plutonite (BELLIDO et al.).

Eigentliche Granite sind in Peru selten. So z.B. sind Granite am Aufbau der Küsten-Batholithe mit nur 0.6% vertreten (COBBING & PITSCHER 1972). JENKS & HARRIS (1953, zitiert in ZEIL 1979) schätzten den Anteil von Graniten im Arequipa-Gebiet auf 4%. STEWART et al. (1974) fanden $^{87}Sr/^{86}Sr$-Verhältnisse zwischen 0.704 und 0.706 für die permischen Plutonite. Dieselben Werte bestimmten KLERKX et al. (1977) in kanäozoischen Vulkaniten der Zentral-Anden.

Nach COBBING & PITCHER (1972) bestehen die Küsten-Batholithe aus

- Tonalit und Granodiorit (weit verbreitet),
- Monzogranit und Granit (weniger verbreitet),
- Gabbro und Diorit (selten).

Diese Plutonite gehören der Kalkalkali-Reihe an. Von W nach E werden ihre Alterswerte jünger, ebenso nimmt ihre Verbreitung ab.

Nach den Daten aus der Literatur lassen sich die Plutonite Perus in vier altersverschiedene Gruppen zusammenstellen:

1) Paläozoische Plutonite (447 - 238 m.y.)

Sie sind sehr selten und bestehen aus Graniten und Granodioriten. Bei den Graniten handelt es sich um Zweiglimmer-Granite, wogegen die Granodiorite nur einen Glimmer sowie Hornblende aufweisen (AUDEBAUD et al 1976). Die ober-permischen Tiefengesteine sind weiter verbreitet als die übrigen paläozoischen Plutonite.

Tab. 24: K/Ar- und Rb/Sr-Alter permischer Tiefengesteine Perus.

Alter in m.y.	Vorkommen	Autoren
260 ±25	Huancayo, W-Kordillere	ROCHA-CAMPOS & AMARAL 1971
257 ± 5	Quillabamba, E-Kord., 73°W/13°S	LANCELOT et al. 1978
251	Villa Azul, E-Kord., 74°41'W/ 12°23'S	STEWART et al. 1974
246 ±10	Machupicchu, E-Kordillere	zitiert in LANCELOT et al. 1978
238 ±11	Coasa, E-Kord., 70°10'W/13°50'S	LANCELOT et al. 1978
238 ±10	San Ramon, E-Kordillere	CAPDAVILA et al. 1977

Von Gruppe 1 existieren 18 chemische Hauptelement-Analysen (Tab. 25, Nr. 1 - 18):

Nr. 1: Tonalit, Lomas de Amara, ca. 2 km westlich von Olleros (RÜEGG 1957, S. 836, Nr. R-219b).

2: Granodiorit, Punta Paracas, Halbinsel Paracas, N-Küste von Peru (RÜEGG 1957, S. 836, Nr. R-99a).

Die Proben Nr. 1, 2 sind nach RÜEGG (1957) paläozoischen bis vor-paläozoischen Alters.

3: Quarz-Monzodiorit, ca. 7 km nordöstlich von Yanama (FRICKER & WEIBEL 1960, S. 375, Nr. 356, "Gabbro-Diorit").

4: Quarz-Diorit, nördlich von Occoro (FRICKER & WEIBEL 1960, S. 375, Nr. 275, "Quarz-Diorit").

5: Quarz-Monzodiorit, Choquetacarpo-Pass, ca. 5 km westlich des Pumasillo (FRICKER & WEIBEL 1960, S. 375, Nr. 101, "Tonalit").

6: Quarz-Monzodiorit, ca. 6 km nordöstlich von Potrero (FRICKER & WEIBEL 1960, S. 375, Nr. 214, "Basischer Granodiorit").

7: Leuco Quarz-Monzodiorit, mittleres Cedro-Tal (FRICKER & WEIBEL 1960, S. 375, Nr. 96, "Übergangsgestein zwischen Paragneisen und Granit").

8: Monzogranit, San Ramon (CAPDEVILA et al. 1977, S. 442, Nr. 316, "Granit").

9: Quarz-Alkalisyenit, im Süden der Pumasillo-Gruppe, ca. 5 km nördlich von Yanama (FRICKER & WEIBEL 1960, S. 375, Nr. 353, "Granodiorit").

10: Monzogranit, San Ramon (CAPDEVILA et al. 1977, S. 442, Nr. JP67B, "Granit").

11: Monzogranit, 2 km nördlich von Arma (FRICKER & WEIBEL 1960, S. 375, Nr. 184, "Granodiorit").

Nr. 12, 13, 14, 15: Monzogranit, San Ramon (CAPDEVILA et al. 1977, S. 442, Nr. JP64B, 319B, JP71B, P.170, "Granit").

16: Granodiorit, Utcuyacu (CAPDEVILA et al. 1977, S. 442, Nr. P.177, "Granodiorit").

17: Alkaligranit, San Ramon (CAPDEVILA et al. 1977, S. 442, Nr. P.169, "Granit").

18: Monzogranit, Utcuyacu (CAPDEVILA et al. 1977, S. 442, Nr. P.174, "Granodiorit").

2) Triassische bis jurassische Plutonite (213 - 164 m.y.)

Sie sind im Küstenbereich, in der West- und in der Ost-Kordillere aufgeschlossen und bestehen hauptsächlich aus Diorit, Quarz-Diorit, Tonalit und Granodiorit. STEWART et al. (1974) haben Altersbestimmungen von 6 dieser Plutonite mitgeteilt (Tab. 26).

Tab. 26: Alter und Vorkommen triassisch-jurassischer Plutonite Perus.

Alter in m.y.	Gesteinstyp	Vorkommen
213	Diorit	70°42'W/13°29'S, E-Kordillere
204	Quarz-Diorit	70°11'W/16°16'S, Ocana, Küsten-Kord.
188 ± 6	Granit	71°56'W/16°06'S, W-Kordillere
180	Nephelin-Syenit	70°22'W/13°52'S, Macusani-Komplex, E-Kordillere
177	Granit	73°48'W/16°09'S, Küsten-Kordillere
164	do.	69°43'W/14°11'S, E-Kordillere

3) Kretazische Plutonite (102 - 65 m.y., Grenze Kreide/Tertiär)

Es handelt sich um Leuco-Granite mit nur einem Glimmer (Biotit), Tonalit und Granodiorit (Biotit und Amphibol). Ausserdem enthalten sie alle Plagioklas, Orthoklas, Perthit und Quarz (AUDEBAUD et al. 1976).

MAJOR ELEMENTS	1	2	3	4	5	6
SIO2	64,71	65,46	50,40	50,80	52,90	55,70
AL2O3	18,60	16,83	14,50	16,50	14,20	16,80
FE2O3	5,65	6,63	5,40	2,60	3,20	2,30
FEO	1,42	2,00	6,10	9,10	6,80	6,00
MNO	-	-	0,10	0,11	0,00	0,09
MGO	0,00	0,44	6,00	4,70	5,50	2,50
CAO	1,44	2,24	8,00	6,40	7,40	4,00
NA2O	5,26	3,86	3,60	3,00	3,30	4,40
K2O	2,33	2,21	1,65	1,90	1,55	4,00
TIO2	-	-	2,20	1,70	2,00	1,54
P2O5	0,04	0,11	0,55	0,29	0,45	0,70
H2O	0,42	0,35	1,50	3,50	2,20	1,60
TOTAL	99,96	100,13	100,00	99,60	99,59	99,63
CIPW NORM						
Q	22,2	29,4	0,9	2,4	5,0	1,6
OR	13,8	13,1	9,8	11,2	9,2	23,6
AB	44,5	32,7	30,5	25,4	27,9	37,2
AN	6,9	10,4	18,5	25,9	19,4	14,3
DI	-	-	14,0	3,2	11,7	0,8
HY	-	1,1	11,6	20,2	14,8	12,6
MT	4,6	6,4	7,8	3,8	4,6	3,3
HM	2,5	2,2	-	-	-	-
IL	-	-	4,2	3,2	3,8	2,9
AP	0,1	0,3	1,3	0,7	1,0	1,6
C	5,0	4,3	-	-	-	-
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)						
QUARTZ	19,7	26,2	3,1	9,4	10,0	8,8
ORTHOCLASE	2,8	12,2	7,2	3,2	5,9	18,4
PLAGIOCLASE	57,7	44,4	39,4	52,7	42,6	48,9
ORTHOPYROXENE	-	-	-	6,6	-	-
AMPHIBOLE	-	-	41,3	9,4	31,7	2,5
BIOTITE	-	-	1,6	14,9	4,9	17,4
MUSCOVITE	11,0	4,4	-	-	-	-
GARNET	7,6	11,4	-	-	-	-
TITANITE	-	-	2,5	0,5	2,0	0,2
MAGNETITE	1,2	1,3	1,8	1,6	1,5	1,6
ILMENITE	-	-	-	0,9	0,4	0,8
APATITE	0,1	0,2	1,2	0,6	1,0	1,4
COLOUR INDEX	19,9	17,3	48,3	34,7	41,5	23,9
Q - COORDINATES	24,5	31,6	9,9	14,3	17,1	11,6
A STRECKEISEN	3,5	14,7	14,0	4,9	10,1	24,1
P DOUBLE-	72,0	53,7	76,2	80,8	72,8	64,3
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,7	1,6	3,7	3,1	2,4	5,6
TAU RITTMANN	-	-	4,0	6,8	4,4	5,5

TAB. 25. PALAEOZOISCHE PLUTONITE - PERU

MAJOR ELEMENTS	7	8	9	10	11	12
SIO2	61,00	65,80	66,90	69,56	69,60	69,91
AL2O3	17,30	14,37	15,20	14,73	14,40	15,00
FE2O3	1,63	3,56	1,25	2,94	0,63	2,74
FEO	3,10	-	1,61	-	2,10	-
MNO	0,05	0,11	0,03	0,07	0,03	0,06
MGO	1,53	1,31	1,30	0,66	0,80	0,57
CAO	2,20	1,98	1,65	1,09	0,95	1,59
NA2O	5,40	3,92	5,40	4,12	4,40	3,71
K2O	4,60	4,52	4,50	5,06	4,90	5,15
TIO2	1,13	0,74	0,56	0,34	0,40	0,32
P2O5	0,52	0,20	0,30	-	0,11	-
H2O	1,20	0,64	0,90	0,72	1,50	0,31
TOTAL	99,68	99,15	99,60	99,29	99,82	99,36
CIPW NORM						
Q	5,3	20,1	13,6	22,9	21,1	24,4
OR	27,2	26,7	26,6	29,9	29,0	30,4
AB	45,7	33,2	45,7	34,9	37,2	31,4
AN	7,5	8,3	3,9	5,4	4,0	7,9
DI	-	-	1,8	-	-	-
HY	6,4	3,3	3,4	1,6	4,7	1,4
MT	2,4	-	1,8	-	0,9	-
HM	-	5,6	-	2,9	-	2,7
IL	2,2	0,2	1,1	0,1	0,8	0,1
RU	-	0,5	-	0,3	-	0,3
TN	-	0,2	-	-	-	-
AP	1,2	0,5	0,7	-	0,3	-
C	0,7	-	-	0,5	0,4	0,4
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)						
QUARTZ	8,8	23,0	14,8	24,2	23,9	25,4
ORTHOCLASE	26,0	28,6	76,5	34,4	31,6	35,5
PLAGIOCLASE	51,5	36,3	-	34,6	37,2	32,9
AMPHIBOLE	-	0,8	4,0	-	-	-
BIOTITE	11,1	9,2	2,8	6,2	6,5	5,6
TITANITE	-	-	0,4	-	-	-
MAGNETITE	0,8	1,4	0,8	0,5	0,5	0,4
ILMENITE	0,8	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1
APATITE	1,0	0,4	0,6	-	0,2	-
COLOUR INDEX	13,7	12,1	8,7	6,8	7,3	6,1
Q COORDINATES	10,2	26,2	16,2	26,0	25,8	27,1
A STRECKEISEN	30,1	32,5	83,8	36,9	34,1	37,8
P DOUBLE-	59,7	41,3	-	37,1	40,1	35,1
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	5,6	3,1	4,1	3,2	3,3	2,9
TAU RITTMANN	7,1	11,1	11,4	31,2	19,6	35,3
TRACE ELEMENTS (IN PPM)						
RB	- 266		- 207,5		- 192	
SR	- 121		- 120		- 155	
K/RB	- 141		- 202		- 223	
RB/SR	- 2,20		- 1,73		- 1,24	
87SR/86SR	- 0,7293		- 0,7239		- 0,7210	

TAB. 25. PALAEOZOISCHE PLUTONITE - PERU

MAJOR ELEMENTS	13	14	15	16	17	18
SIO2	70,31	71,68	72,07	72,40	74,22	75,18
AL2O3	14,71	13,66	13,51	13,73	12,87	12,71
FE2O3	2,91	2,61	2,97	3,70	1,96	2,61
FEO	-	-	-	-	-	-
MNO	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03	0,06
MGO	0,64	0,53	0,63	0,52	0,08	0,48
CAO	1,44	1,00	1,12	4,00	0,21	1,78
NA2O	4,08	3,62	3,82	3,39	3,83	3,02
K2O	4,60	4,52	4,68	1,26	5,01	3,24
TIO2	0,38	0,32	0,41	0,39	0,18	0,08
P2O5	0,11	-	-	-	-	-
H2O	0,71	1,29	0,89	0,42	0,57	0,65
TOTAL	99,96	99,30	100,16	99,86	98,96	99,81
CIPW NORM						
Q	25,2	30,4	28,6	38,8	32,2	40,7
OR	27,2	26,7	27,7	7,4	29,6	19,1
AB	34,5	30,6	32,3	28,7	32,4	25,6
AN	6,4	5,0	5,6	18,5	1,0	8,8
DI	-	-	-	0,1	-	-
HY	1,6	1,3	1,6	1,2	0,2	1,2
HM	2,9	2,6	3,0	3,7	2,0	2,6
IL	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
RU	0,3	0,2	0,3	-	0,1	0,0
TN	-	-	-	0,8	-	-
AP	0,3	-	-	-	-	-
C	0,7	1,0	0,1	-	0,8	1,0
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)						
QUARTZ	26,2	30,9	30,0	39,7	31,3	41,0
ORTHOCLASE	31,1	31,8	31,8	5,5	65,6	20,4
PLAGIOCLASE	35,6	30,3	32,0	47,7	-	31,4
AMPHIBOLE	-	-	-	2,7	-	-
BIOTITE	6,0	4,5	5,6	3,5	-	5,0
MUSCOVITE	-	-	-	-	0,6	-
CORDIERITE	0,4	1,9	-	-	-	1,7
GARNET	-	-	-	-	2,0	-
TITANITE	-	-	-	0,2	-	-
MAGNETITE	0,4	0,4	0,4	0,6	0,3	0,4
ILMENITE	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	-
APATITE	0,2	-	-	-	-	-
COLOUR INDEX	7,2	6,9	6,2	7,1	3,1	7,1
Q COORDINATES	28,2	33,2	32,0	42,8	32,3	44,2
A STRECKEISEN	33,5	34,2	33,9	5,9	67,7	22,0
P DOUBLE-	38,3	32,6	34,1	51,3	-	33,8
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,8	2,3	2,5	0,7	2,5	1,2
TAU RITTMANN	21,7	31,4	23,6	26,5	50,2	121,1
TRACE ELEMENTS (IN PPM)						
RB	273	316,5	-	-	-	-
SR	124	80	-	-	-	-
K/RB	140	119	-	-	-	-
RB/SP	2,20	3,96	-	-	-	-
87SR/86SR	0,7299	0,7485	-	-	-	-

Tab. 27: Alter und Vorkommen kretazischer Plutonite des Küsten-Batholiths von Peru.

Alter in m.y.	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
102 ± 1	Tonalit	Atacongo, Küsten-Kord., 76°51'W/12°13'S	STEWART et al. 1974
97 ± 4	Granodiorit	Minas de Alpacay, 2550 m, 72°57'W/15°49'S	WEIBEL et al. 1978
92 ± 2	do.	76°03'W/13°25'S	STEWART et al. 1974
89 ± 3	Diorit	76°51'W/12°09'S, Machay	do.
85 ± 6	Granodiorit	76°06'W/12°55'S	do.
76 ± 3	do.	77°19'W/11°17'S	do.
72	Granit	76°47'W/11°39'S	do.
66 ± 1	Granodiorit	75°23'W/13°37'S	do.
65 ± 4	do.	Adan Mine, Casma Gebiet 78°17'30"W/9°29'S	GILETTI & DAY 1968
65 ± 2	Quarz-Diorit	75°26'W/13°37'S	STEWART et al. 1974

Von den kretazischen Gesteinen Perus liegen sechs chemische Gesteinsanalysen vor (Tab. 28, No. 1 - 5):

Nr. 1: Quarz-Gabbro, Cerro Pampacha, 3200 m, 72°52'W/15°46'S, S-Peru (FRANGIPANE-GYSEL 1976, Nr. 20, "Mikrograbbro").

2: Quarz-Monzodiorit, südlich der Pescaderos Bay (RÜEGG 1957, S. 842, Nr. R-25A, "Hornblende-Granit").

3: Quarz-Diorit, Cerro del Aguila, 18 km südöstlich von Pozo Santo (RÜEGG 1957, S. 842, Nr. R-38a, "Granodiorit").

4: Granodiorit, Cerro Tiquimbro, 2650 m, 72°56'W/15°48'S, S-Peru (FRANGIPANE 1976, Nr. 19, "Tonalit").

5: Granodiorit, Minas de Alpacay, 2550 m, 72°57'W/15°49'S, S-Peru (WEIBEL et al. 1978, S. 249, Nr. 1).

4) Tertiäre Plutonite (60.5 - 2.7 ± 4 m.y.)

Sie treten in der W-Kordillere auf und liegen östlich der kretazischen Plutonite. Es handelt sich hauptsächlich um Quarz-Diorite mit Biotit und Amphibol (AUDEBAUD et al. 1976).

TAB. 28. KRETAZISCHE PLUTONITE - PERU

MAJOR ELEMENTS	1	2	3	4	5
SIO2	40,40	59,58	60,58	62,20	67,20
AL2O3	18,50	15,18	11,87	16,20	16,10
FE2O3	7,50	6,64	8,61	2,50	1,60
FEO	6,60	3,31	3,60	3,00	1,90
MNO	0,24	-	-	0,12	0,10
MGO	6,90	1,78	2,02	2,60	1,20
CAO	14,40	6,42	5,81	5,20	4,80
NA2O	1,50	4,78	5,14	2,90	3,20
K2O	0,30	1,89	2,03	3,20	2,70
TIO2	1,30	-	-	0,64	0,43
P2O5	0,60	0,16	0,15	0,20	0,16
H2O	1,30	0,28	0,25	0,90	0,50
TOTAL	99,54	100,02	100,06	99,66	99,89

CIPW NORM

Q	-	11,9	13,2	18,0	26,1
OR	1,8	11,2	12,0	18,9	16,0
AB	8,2	40,4	43,5	24,5	27,1
AN	42,9	14,4	3,3	21,7	21,6
NE	2,5	-	-	-	-
DI	19,6	10,7	10,9	2,2	1,0
WO	-	1,2	4,4	-	-
HY	-	-	-	8,0	4,2
OL	8,6	-	-	-	-
MT	10,9	9,6	11,6	3,6	2,3
HM	-	-	0,6	-	-
IL	2,5	-	-	1,2	0,8
AP	1,4	0,4	0,3	0,5	0,4

RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)

QUARTZ	3,9	10,1	10,3	22,4	28,7
ORTHOCLASE	0,3	12,8	4,4	15,4	14,2
PLAGIOCLASE	26,1	55,3	58,8	43,9	47,2
CLINOPYROXENE	-	8,3	10,4	-	-
AMPHIBOLE	65,2	10,4	4,3	6,5	2,7
BIOTITE	-	-	-	9,9	5,9
TITANITE	1,7	-	-	0,2	0,1
MAGNETITE	1,6	2,7	3,5	1,2	0,7
ILMENITE	-	-	-	-	0,1
APATITE	1,4	0,3	0,3	0,4	0,3
COLOUR INDEX	69,8	21,8	26,6	18,3	9,8
Q COORDINATES	12,8	13,0	14,0	27,4	31,8
A STRECKEISEN	1,0	16,4	6,0	10,9	15,8
P DOUBLE-	86,2	70,7	80,0	53,7	52,4
F TRIANGLE	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	-1,2	2,7	2,9	1,9	1,4
TAU RITTMANN	8,9	-	-	15,8	21,9

Tab. 29: Alter und Vorkommen tertiärer Plutonite Perus.

Alter in m.y.	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
60.5	Granit	76°40'W/11°56'S, Küste	STEWART et al. 1974
58.9±2	Granodiorit	71°34'23"W/16°31'57"S, Yarabamba, Küste	do.
58.7±1.8	Diorit	70°36'38"W/17°15'03"S, Toquepala, Küste	LAUGHLIN et al. 1968
56.8±2	Granodiorit	71°35'17"W/16°31'02"S, Tiabaya, Küste	do.
55	Granit	75°29'W/13°30'S, Küste	do.
53 ±2	Tonalit	79°33'31"W/6°48'06"S, Küste	do.
46.4±1.8	Granodiorit	78°20'W/7°02'S, Michiquillay	LAUGHLIN et al. 1968
43.5±1.5	Tonalit	79°14'W/7°14'S, Küste	STEWART et al. 1974
43 ±2	do.	78°45'28"W/8°00'56"S, Küste	do.
40	Granodiorit	69°43'W/14°11'S, E-Kord.	do.
35 ±3	do.	76°48'W/11°16'S, E-Kord.	do.
33 ±1	Tonalit	77°09'W/11°03'30"S, Küste	do.
32.4	Diorit	77°07'W/10°59"S, Küste	do.
31.1	Granit	78°23'W/8°28'S, Küste	do.
28.9	Granodiorit	78°20'W/8°40'S, Küste	do.
26 ±1	do.	78°39'31"W/7°58'55"S, Küste	do.
18 ±1	Quarz-Diorit	76°27'W/11°52'S, Surco, W-Kordillere	GILETTI & DAY 1968
13 ±1	Tonalit	76°52'W/10°44'S, Küste	STEWART et al. 1974
12	Granodiorit	78°02'W/8°26'S, Küste	do.
9.7±0.6	do.	77°21'W/9°45'S, W-Kord.	do.
9.7	Granit	77°24'W/9°19'S, W-Kord.	do.
9.1±0.4	Granodiorit	77°21'W/9°45'S, Kordillere Blanca, W-Kord.	GILETTI & DAY 1968
7.7	Quarz-Monzonit	75°42'45"W/12°19'40"S, Yauricocha Intrusiva, W-Kord.	do.
6.9±0.4	do.	75°42'W/12°22'S, Yauricocha Intrusiva, W-Kord.	do.
2.7±0.4	Granodiorit	77°50'W/9°04'S, Küste	STEWART et al. 1974

Von den tertiären Gesteinen Perus liegen 14 chemische Gesteinsanalysen vor (Tab. 30, Nr. 1 - 14):

Nr. 1: Quarz-Gabbro. Yanacoto (BEARTH 1938, S. 532, "Uralitgabbro").

2: Olivin-Hornblendit, Huampani (BEARTH 1938, S. 533, "Melagabbro").

3: Quarz-Monzogabbro, Chosica (BEARTH 1938, S. 531, "Uralitgabbro").

4: Quarz-Diorit, Varillas-Stock (DUNIN-BORKOWSKI 1970, S. 1161, "Gabbro-Diorit").

5: Quarz-Diorit, Vibora-Gebiet (DUNIN-BORKOWSKI 1970, S. 1161, "Pyroxen-Diorit").

6: Quarz-Monzodiorit, unterhalb der Schlucht von Puchi (BEARTH 1938, S. 529, "Diorit").

7: Diorit, Entrada-Gebiet (DUNIN-BORKOWSKI 1970, S. 1161, "Augit-reicher Pyroxen-Diorit").

8, 9: Granodiorit, San Jeronimo bzw. aus der nördlichen Hälfte des Plutons von Autisha (BEARTH 1938, S. 524/25, "Granodiorit").

10: Granodiorit, Tulparaju, nördlicher Abhang der Quebrada Tulparaju (EGLER & DE BOOY 1956, S. 31, "Tonalit").

11: Monzogranit, bei Autisha (BEARTH 1938, S. 523, "Quarz-Monzonit").

12: Granodiorit, 2 km westlich von Atunmontepuncu (EGLER & DE BOOY 1956, S. 33, "Granodiorit").

13: Monzogranit, Quebrada Cohup (EGLER & DE BOOY 1956, S. 34, "Leuco-Granodiorit").

14: Leuco-Syenogranit, oberhalb der Schlucht von Autisha (BEARTH 1938, S. 522, "Alkaligranit").

TAB. 30. TERTIAERE PLUTONITE - PERU

MAJOR ELEMENTS	1	2	3	4	5	6	7
SIO2	43.59	46.12	50.06	53.60	54.90	55.57	56.60
AL2O3	19.98	12.51	19.49	19.70	17.00	18.01	17.50
FE2O3	3.74	3.76	2.19	4.61	4.06	1.20	1.33
FEO	4.90	6.77	4.36	2.76	2.66	5.58	1.45
MNO	0.08	0.18	0.10	0.12	0.12	0.09	0.05
MGO	8.73	15.23	6.28	4.77	6.84	3.89	4.77
CAO	14.25	11.68	9.84	8.32	8.52	7.59	11.20
NA2O	1.37	0.69	2.16	3.83	4.05	3.19	4.60
K2O	0.34	1.24	2.17	1.09	0.46	2.67	0.44
TIO2	0.21	0.63	0.62	0.64	0.71	1.26	1.28
P2O5	0.63	-	0.15	0.13	0.14	0.45	0.04
CO2	-	0.16	0.23	0.11	0.16	-	0.01
H2O	2.12	1.19	2.44	1.09	0.79	0.70	1.28
TOTAL	100.14	100.16	100.09	100.77	100.41	100.20	100.55

CIPW NORM

Q	-	-	-	4.1	4.6	4.3	3.5
OR	3.2	7.3	12.8	6.4	2.7	15.8	2.6
AB	9.7	5.8	18.3	32.4	34.3	27.0	38.9
AN	46.8	27.4	37.1	33.3	26.8	26.9	25.8
NE	1.0	-	-	-	-	-	-
DI	15.8	23.5	7.5	5.0	10.3	6.4	22.9
HY	-	9.3	15.2	10.0	12.7	13.9	1.3
OL	14.3	18.7	1.6	-	-	-	-
MT	5.4	5.5	3.2	6.7	5.9	1.7	1.1
HM	-	-	-	-	-	-	0.6
IL	0.4	1.2	1.2	1.2	1.3	2.4	2.4
AP	1.5	-	0.3	0.3	0.3	1.0	0.1
CC	-	0.4	0.5	0.3	0.4	-	0.0

RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)

QUARTZ	4.3	9.6	6.9	5.5	7.3	9.9	3.6
ORTHOCLASE	1.3	-	6.5	2.5	0.3	12.4	0.7
PLAGIOCLASE	35.6	-	50.0	64.9	56.0	50.4	68.9
CLINOPYROXENE	-	-	-	-	-	-	20.0
ORTHOPYROXENE	-	-	-	3.9	0.1	-	-
AMPHIBOLE	56.1	88.0	24.7	15.9	33.7	16.8	4.8
BIOTITE	-	-	9.5	4.8	-	7.3	-
TITANITE	0.2	0.6	0.4	0.3	0.6	0.9	1.1
MAGNETITE	1.2	1.4	1.2	1.5	1.3	1.1	0.3
ILMENITE	-	-	-	-	-	0.3	0.6
APATITE	1.4	-	0.3	0.3	0.3	0.9	0.1
CALCITE	-	0.4	0.6	0.3	0.4	-	-
COLOUR INDEX	58.9	90.4	36.7	27.0	36.4	27.3	26.8
Q COORDINATES	10.5	100.0	10.8	7.6	11.5	13.6	5.0
A STRECKEISEN	3.1	-	10.2	3.5	0.5	17.1	0.9
P DOUBLE-	86.4	-	78.9	88.9	88.0	69.3	94.1
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	6.2	1.2	2.7	2.3	1.7	2.7	1.9
TAU RITTMANN	22.2	18.8	22.5	20.6	15.2	8.7	9.8

TRACE ELEMENTS (IN PPM)

LI	-	-	-	10	-	-	10
CR	-	-	-	-	100	-	100
CO	-	-	-	-	-	-	10
NI	-	-	-	100	100	-	-
BA	-	-	-	-	-	-	100

TAB. 30. TERTIAERE PLUTONITE - PERU

MAJOR ELEMENTS	8	9	10	11	12	13	14
SIO2	59,83	64,40	66,97	68,72	70,66	73,10	77,31
AL2O3	16,65	14,15	16,32	14,38	15,60	15,05	11,83
FE2O3	0,70	2,84	3,00	1,07	0,45	0,20	0,04
FEO	5,53	3,17	0,62	1,86	1,40	0,87	0,70
MNO	0,06	0,04	0,07	0,02	0,06	0,03	-
MGO	2,59	2,01	1,34	1,26	0,96	0,41	0,12
CAO	5,29	4,64	4,09	2,95	2,97	1,83	1,01
NA2O	3,48	3,69	2,66	2,53	3,43	3,78	2,47
K2O	3,21	3,58	3,43	5,12	3,44	3,73	5,70
TIO2	1,01	0,75	0,40	0,68	0,34	0,17	0,15
P2O5	0,23	0,45	0,04	0,33	0,17	0,08	0,15
H2O	1,17	0,56	1,01	0,96	0,71	0,61	0,60
TOTAL	99,75	100,28	99,75	99,88	100,19	99,86	100,08
CIPW NORM							
Q	10,1	18,4	28,9	26,5	29,4	32,0	38,7
OR	19,0	21,2	20,3	30,3	20,8	22,0	33,7
AB	29,4	31,2	20,8	21,4	29,0	32,0	20,9
AN	20,3	11,5	20,0	12,5	13,6	8,6	4,0
DI	3,7	7,0	-	-	-	-	-
HY	12,6	4,0	3,3	4,6	4,1	2,2	1,3
MT	1,0	4,1	1,1	1,6	0,7	0,3	0,1
HM	-	-	2,3	-	-	-	-
IL	1,9	1,4	0,8	1,3	0,6	0,3	0,3
AP	0,5	1,0	0,1	0,8	0,4	0,2	0,3
C	-	-	1,2	0,1	1,2	1,7	0,1
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)							
QUARTZ	15,9	18,7	31,2	29,8	30,7	30,9	39,2
ORTHOCLASE	16,1	25,2	17,3	31,3	21,1	27,8	43,6
PLAGIOCLASE	47,3	38,5	39,7	29,7	39,9	35,6	15,3
AMPHIBOLE	9,5	14,2	-	-	-	-	-
BIOTITE	8,8	-	10,4	7,8	5,1	0,2	1,4
CORDIERITE	-	-	0,9	-	2,5	5,1	-
TITANITE	0,6	1,0	-	-	-	-	-
MAGNETITE	1,1	1,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1
ILMENITE	0,2	-	-	0,4	0,1	0,2	0,1
APATITE	0,5	0,9	0,1	0,6	0,3	0,2	0,3
COLOUR INDEX	20,6	17,6	11,8	9,2	8,2	5,8	1,9
Q COORDINATES	20,1	22,7	35,4	32,9	33,5	32,8	40,0
A STRECKEISEN	20,3	30,6	19,6	34,4	23,0	29,5	44,4
P DOUBLE-	59,6	46,7	45,0	32,7	43,5	37,7	15,6
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,7	2,5	1,4	2,3	1,7	1,9	1,9
TAU RITTMANN	10,6	8,7	31,5	11,7	23,9	45,1	31,2

5.3. Altersstellung und geographische Verbreitung bolivischer Plutonite

Bolivien besteht aus zwei morphologischen Grossbereichen. Der westliche Raum der andinen Hochregion gliedert sich in die E- und W-Kordillere, getrennt durch die Hochebene des Altiplano. Ost-Bolivien wird von Tiefländern gebildet, die sich in die subandine Zone, die Beni- und die Chaco-Tiefebene gliedern lassen. Plutonische Körper sind nur im Osten, im Brasilianischen Schild, in der E-Kordillere, im Altiplano und in der W-Kordillere aufgeschlossen (Taf. 5).

Die E-Kordillere umfasst von Norden nach Süden folgende fünf Einheiten:

1) Cordillera de Apolobamba,
2) Cordillera de Muñecas,
3) Cordillera Real,
4) Cordillera Quimsa Cruz,
5) Cordillera Santa Vera Cruz.

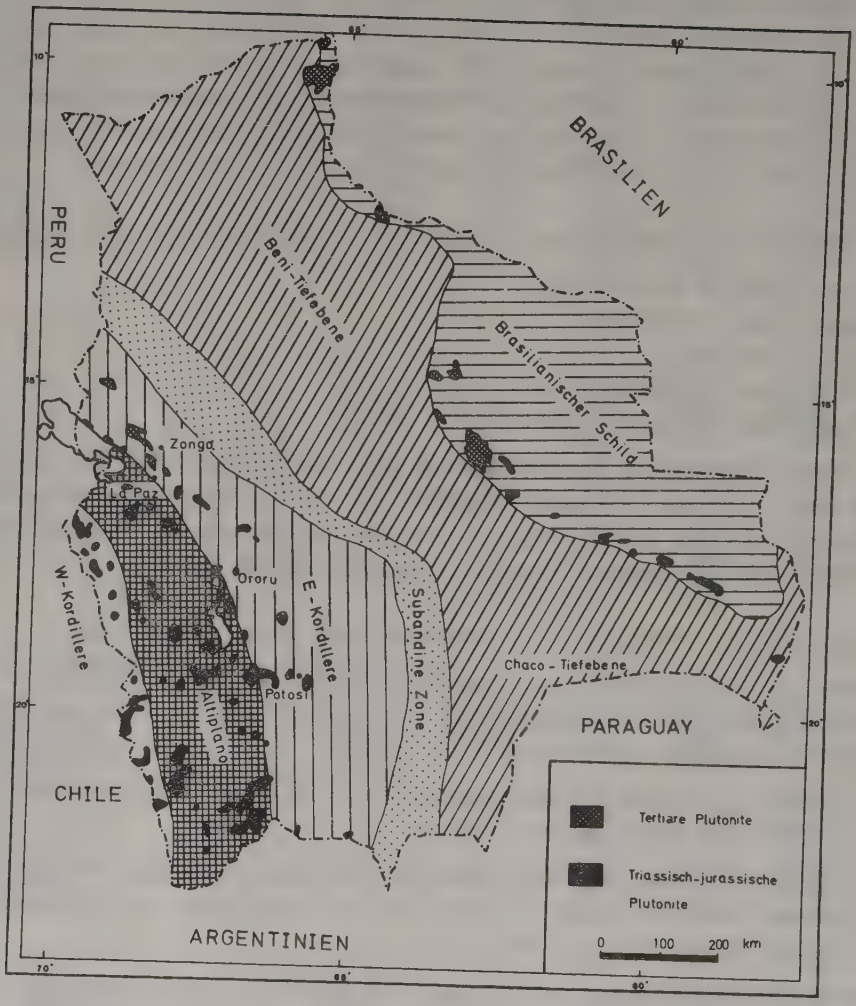
Die beiden nördlichen Einheiten sind aus altpaläozoischen Schiefern aufgebaut, die drei südlichen dagegen von sauren Tiefengesteinskörpern, die zwischen dem Jungpaläozoikum und dem Jungtertiär zu verschiedenen Zeiten in paläozoische Sedimente eindrangen (BARTH 1972).

AHLFELD (1970) unterschied in Bolivien drei Intrusionsphasen:

1. Saure aplitische Granitplutone der östlichen Cordillera Real, deren Intrusion (Perm oder älter) mit epirogenen Bewegungen im Jungpaläozoikum zusammenhängt.
2. Granite des Illampu, Mururata und Chojlla; es sind synorogene, alte Plutone (Oberperm bis Jura).
3. Alle granitischen Gesteine südlich des Mururata, also die des Illimani sowie jene von Quimsa Cruz und Vera Cruz; es sind präorogene, junge Plutone (Miozän).

Im Raum der Cordillera Real fehlen nach LEHMANN (1979) Anzeichen für einen altpaläozoischen Magmatismus, der einer initialen herzynischen Phase zuzurechnen wäre.

Der grösste Teil der Plutonite der Cordillera Real gehört dem postorogenen Typus an, charakterisiert durch diskordante Kontakte, ohne Anzeichen von tektonischer Überprägung und mit relativ frischem Erhaltungszustand (LEHMANN 1979).



Taf. 5: Vorkommen plutonischer Gesteine in Bolivien.

Die W-Kordillere erreicht ihre Kulmination im chilenisch-bolivischen Grenzgebiet und kann so auch als Ostflanke der Hochkordillere Chiles verstanden werden. Sie wird hauptsächlich von magmatischen Gesteinen aufgebaut. Auf einem nicht aufgeschlossenen Sockel von gefalteten ?präkambrischen, paläozoischen und mesozoischen Schichten sowie vom Jungpaläozoikum bis Paläogen intrudierten Tiefengesteinskörpern ("Anden-Batholith") liegen mächtige känozoische Vulkanit-Serien mehrerer Generationen.

In Bolivien kommen die Intrusiva in der W-Kordillere, im Bereich des Altiplano, in der E-Kordillere sowie im Brasilianischen Schild vor.

Nach absoluten Altersbestimmungen lassen sich die Plutonite in zwei altersverschiedene Gruppen gliedern (Abb. 63):

1) Triassisch bis jurassische Plutonite

Diese reichen vom Norden der E-Kordillere bis zum Illimani-Batholith, der tertiären Alters ist. An sieben Proben entlang der Straße Milluni - Zongo ermittelten MCBRIDE (1977) Biotit- und Muskowit-Mineralalter nach der K/Ar-Methode, die Werte zwischen 213 - 191 m.y. ergaben.

Tab. 31 : Alter und Vorkommen triassisch-jurassischer Plutonite der E-Kordillere Boliviens.

Alter in m.y.	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
211	Granodiorit	Huayana Potosi-Batholith, 68°05'W/16°15'S	AHLFELD & BRANISA 1960
199	do.	Taquesi-Mururata-Batholith, 67°56'W/16°28'S	do.
195 ± 9	do.	Sorata-Batholith, 13 km ESE Sorata	CORDANI 1967
195 ± 3	?	Taquesi-Mururata-Batholith	do.
180	Granodiorit	Sorata-Batholith, Candelaria, 68°26'W/45°47'S	AHLFELD & BRANISA 1960
150	Granit	Huayana Potosi-Batholith, Cuticucho, 68°07'W/ 16°07'S	do.

TAB. 32. MESOZOISCHE PLUTONITE - BOLIVIEN

MAJOR ELEMENTS	1	2	3	4
SIO2	66,20	66,60	70,90	74,60
AL2O3	15,50	16,20	12,60	13,00
FE2O3	4,71	4,55	2,99	1,15
FEO	-	-	1,45	-
MNO	0,06	0,06	-	0,05
MGO	1,52	1,56	1,04	0,19
CAO	2,53	2,81	2,56	0,55
NA2O	3,17	2,97	3,03	3,24
K2O	3,62	3,67	4,59	5,13
TIO2	0,63	0,64	0,19	0,08
P2O5	0,23	0,25	-	0,27
ZRO2	0,02	0,02	-	0,01
H2O	-	-	0,70	-
TOTAL	98,19	99,33	100,22	98,27

CIPW NORM

Q	26,9	27,6	29,9	35,4
OR	21,4	21,7	27,1	30,3
AB	26,8	25,1	25,6	27,4
AN	11,1	12,3	7,5	1,0
DI	-	-	4,1	-
HY	3,8	3,9	0,7	0,5
MT	-	-	4,1	-
HM	4,7	4,5	0,1	1,2
IL	0,1	0,1	0,4	0,1
RU	0,6	0,6	-	0,0
AP	0,3	0,6	-	0,6
Z	0,0	0,0	-	0,0
C	2,3	2,8	-	1,8

RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)

QUARTZ	27,0	27,5	29,0	33,8
ORTHOCLASE	20,3	21,0	24,4	50,7
PLAGIOCLASE	35,7	34,7	26,7	-
AMPHIBOLE	-	-	8,5	-
BIOTITE	10,1	8,8	-	-
MUSCOVITE	-	-	-	1,6
CORDIERITE	4,6	6,6	-	4,1
TITANITE	-	-	0,3	-
MAGNETITE	0,6	0,6	1,1	0,2
ILMENITE	0,3	0,3	-	0,1
APATITE	0,3	0,5	-	0,5
COLOUR INDEX	16,1	16,7	9,9	6,5
Q COORDINATES	33,3	33,1	32,2	36,2
A STRECKEISEN	24,2	25,2	28,1	63,8
P DOUBLE-	42,5	41,7	29,7	-
F TRIANGLE	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,0	1,9	2,1	2,2
TAU RITTMANN	14,3	14,9	50,8	27,9

TRACE ELEMENTS (IN PPM)

LI	105	100	-	220
B	170	45	-	-
F	625	610	-	1575
SC	11,4	11,1	-	4,9
CU	30	60	-	45
ZN	90	160	-	70
AS	9	3	-	11
PB	166	170	-	451
SR	275	307	-	60
SN	6	7	-	41
CS	9,2	3,95	-	44,2
BA	-	770	-	-
LA	41,2	46,8	-	11,9
CE	74,3	79	-	10,600
EU	1,470	1,44	-	0,430
TB	0,910	0,730	-	0,410
YB	3,06	2,66	-	1,33
LU	0,430	0,400	-	-
HF	3,93	3,9	-	1,45
TA	1,930	1,92	-	4,2
PB	23	35	-	20
TH	11,9	12,1	-	4,2
U	2,35	4,40	-	-
K/RB	181	170	-	94
RB/SI	0,60	0,55	-	7,52

Von den triassisch-jurassischen Plutoniten existieren vier chemische Gesteinsanalysen (Tab. 32, Nr. 1 - 4):

Nr. 1, 2: Monzogranit, Huayana Potosi-Granit (LEHMANN 1979, S. 60, Nr. 44, 38).

3: Monzogranit, Illampu, Sorata-Batholith (AHLFELD 1932, S. 305, Nr. II, "Granodiorit").

4: Alkaligranit, Huayana Potosi-Granit (LEHMANN 1979, S. 60, Nr. 84).

2) Tertiäre Plutonite

Andine Magmatite tertiären Alters treten am Illimani und südlich der E-Kordillere in den Kordilleren von Quimsa Cruz und Santa Vera Cruz sowie in der süd-bolivischen subvulkanischen Zinn-Provinz auf (GRANT et al. 1977; ROBERTSON 1974). VIELMETTER (1928) hat die Granodiorite aus der bolivischen E-Kordillere untersucht.

Tab. 33 : Alter und Vorkommen tertiärer Plutonite der E-Kordillere Boliviens.

Alter in m.y.	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
26	Granit	Illimani-Batholith, 67°48'W/16°39'S	AHLFELD & BRANISA 1960
26	do.	Quimsa Cruz-Batholith, E Viloca, 67°33'W/ 16°57'S	AHLFELD & SCHNEIDERS-S 1964
23.8±1.6	Quarz-Monzonit	Quimsa Cruz-Batholith	CORDANI 1967
23	do.	Coriviri-Batholith, 66°57'W/18°21'S	AHLFELD & SCHNEIDER-S 1964; THORMANN 1966
22.8±2.2+)	Granodiorit	Kumurana, Potosi-Gebiet	WOLF 1973
22.8±0.7	do.	Santa Vera Cruz	CORDANI 1967
20.8	do.	Kari Kari-Batholith 65°37'W/19°53'S	AHLFELD & SCHNEIDER-S 1964; RIVAS & CARRASCO 1968
20.5	do.	do.	do.

+) Für den Kumurana-Granodiorit hat WOLF (1973) 22.8 ± 2.2 m.y. (Verdünnungsmethode) und 30.7 ± 3.6 m.y. (Volumen-Methode) angegeben. Der Wert von 22.8 m.y. wurde in die Tab. aufgenommen, da er der wahrscheinlichere ist.

Von den tertiären Plutoniten Boliviens gibt es acht chemische Gesteinsanalysen (Tab. 34, Nr. 1 - 8):

Nr. 1: Nephelin-reicher Foyait, Cerro Sapo (AHLFELD & MOSEBACH, 1935, S. 400, "Nephelin-Syenit").

2: Granodiorit, Kumurana (WOLF 1973, S. 166, "Granodiorit").

3: Mela Monzogranit, Kumurana (WOLF 1973, S. 166, "Granodiorit").

4: Mela Granodiorit, Kumurana (WOLF 1973, S. 166, "Granodiorit").

5: Mela Monzogranit, Kumurana (WOLF 1973, S. 166, "Granodiorit").

6: Monzogranit, Kumurana (WOLF 1973, S. 166, "Granodiorit").

7: Monzogranit, nahe des Llamero Tunnels, Caracoles Distrikt, 80 km SE La Paz, in der Cordillera Quimsa Cruz (LINDGREN 1926, S. 139, Nr. 17.C).

8: Monzogranit, Bricker Tunnel, Caracoles Distrikt, 80 km SE La Paz in der Cordillera Quimsa Cruz (LINDGREN 1926, S. 139, Nr. 1.C).

TAB. 24. TERTIAIRE PLUTONITE - BOLIVIEN

MAJOR ELEMENTS	1	2	3	4	5	6	7	8
SIO2	49,47	58,20	59,00	60,40	61,10	62,00	64,39	65,62
AL2O3	20,36	17,90	18,30	13,80	15,00	16,10	16,15	17,02
FE2O3	2,49	5,50	3,30	1,60	2,00	4,40	1,03	1,03
FEO	2,05	0,65	5,10	5,30	5,50	1,10	3,29	3,28
MNO	0,19	0,08	0,09	0,17	0,07	0,07	-	-
MGO	1,63	2,80	3,30	3,60	2,90	2,05	1,87	1,98
CAO	3,06	4,95	4,60	3,85	3,90	3,80	3,07	2,00
NA2O	9,78	2,65	2,80	2,10	2,70	2,70	2,28	2,15
K2O	5,53	4,15	4,40	3,70	4,75	4,75	5,35	5,49
TIO2	0,99	1,20	1,20	1,20	1,00	1,00	0,48	-
P2O5	0,38	0,55	0,48	0,61	0,40	0,47	0,40	-
CL	0,69	-	-	-	-	-	-	-
CO2	0,53	-	-	-	-	-	-	-
ZRO2	0,04	-	-	-	-	-	-	-
H2O	1,29	1,35	0,72	3,40	0,94	1,55	1,24	1,38
TOTAL	100,33	99,98	100,29	99,73	100,21	99,99	100,60	99,95

CIPW NORM

Q	-	13,7	11,0	19,1	13,1	18,2	21,4	22,5
OR	33,0	24,5	26,0	21,9	27,8	28,1	31,6	32,4
AB	1,6	23,4	23,7	17,8	22,8	22,8	19,3	18,2
AN	-	21,0	16,2	15,1	14,9	15,8	12,6	9,9
NE	39,0	-	-	-	-	-	-	-
AC	7,2	-	-	-	-	-	-	-
NS	0,2	-	-	-	-	-	-	-
DI	11,4	-	2,8	-	1,5	-	-	-
HY	-	7,0	11,7	15,7	13,4	5,1	9,0	10,1
OL	1,9	-	-	-	-	-	-	-
MT	-	-	4,8	2,3	2,9	0,9	1,6	1,5
HM	-	5,5	-	-	-	3,8	-	-
IL	1,9	1,5	2,3	2,3	1,9	1,9	0,9	-
RU	-	0,4	-	-	-	-	-	-
AP	0,9	1,3	1,1	1,4	0,9	1,1	0,9	-
Z	0,1	-	-	-	-	-	-	-
C	-	1,4	-	0,8	-	0,7	2,0	3,9
CC	1,2	-	-	-	-	-	-	-

RITTMANN NORM (NET PLUTONIC FACIES)

QUARTZ	-	18,4	17,3	29,9	20,8	22,2	25,2	23,6
ORTHOCLASE	40,9	17,0	20,8	10,7	22,9	24,6	30,8	33,4
PLAGIOCLASE	-	42,8	34,9	32,6	32,6	36,2	27,3	22,7
NEPHELINE	28,9	-	-	-	-	-	-	-
SODALITE	11,5	-	-	-	-	-	-	-
CLINOPYROXENE	13,9	-	-	-	-	-	-	-
AMPHIBOLE	0,9	-	8,0	-	4,5	-	-	-
BIOTITE	-	10,4	15,8	24,3	16,7	14,8	12,5	9,9
CORDIERITE	-	-	-	-	-	-	2,0	9,7
TITANITE	-	-	0,4	-	0,2	-	-	-
MAGNETITE	1,0	0,7	1,4	0,9	1,3	0,7	0,6	0,7
ILMENITE	0,9	0,5	0,3	0,3	0,2	0,4	-	-
APATITE	0,8	1,1	1,0	1,3	0,8	0,9	0,8	-
CALCITE	1,2	-	-	-	-	-	-	-
COLOUR INDEX	18,7	21,7	26,9	26,8	23,7	16,9	16,7	20,3
Q COORDINATES	-	23,5	23,7	40,8	27,2	26,7	30,3	29,6
A STRECKEISEN	50,3	21,8	28,5	14,6	30,1	29,6	37,0	42,0
P DOUBLE-	-	54,7	47,9	44,6	42,7	43,6	32,7	28,5
F TRIANGLE	49,7	-	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	36,5	3,0	3,2	1,9	3,0	2,9	2,6	2,6
TAU RITTMANN	7,7	8,7	7,4	6,5	8,9	9,1	15,8	-

TRACE ELEMENTS (IN PPM)

BE	-	6	3,6	3	4,8	6,8	-	-
S	-	70	36	50	50	60	-	-
F	-	1170	1120	-	1200	1100	-	-
TI	-	3000	-	-	-	3000	-	-
V	-	145	125	42	120	160	-	-
CR	-	150	65	34	100	165	-	-
MN	-	775	750	485	600	625	-	-
CO	-	25,5	23	-	22	22	-	-
NI	-	22,5	15	-	19	17,5	-	-
CU	-	21	12	35	12	7,8	-	-
GA	-	14,5	16	10	10	14,5	-	-
PB	-	220	160	160	210	305	-	-
SR	-	950	-	-	-	750	-	-
ZR	-	165	210	140	160	230	-	-
MO	-	14	-	-	-	14	-	-
SN	-	21	15	-	32	43	-	-
BA	-	1650	1370	700	1270	1555	-	-
PB	-	24	26	10	16	32	-	-
K/RB	-	157	220	192	186	120	-	-
RB/SR	-	0,23	-	-	-	0,41	-	-
NI/CO	-	0,85	0,65	-	0,86	0,80	-	-

5.4. Altersstellung und geographische Verbreitung chilenischer Plutonite

Nach der Mapa Geologico de Chile (1968) unterscheidet man vier Plutonit-Generationen. Die Einteilung ist nach den geochronologischen Daten und stratigraphischen Beziehungen durchgeführt. Die Plutonite sind paläozoisch, jurassisch, kretazisch und tertiär. Ihr Alter stimmt mit dem Alter der tektonischen Hauptphasen überein (AGUIRRE et al. 1974). Die geographische Verteilung der verschiedenen Intrusions-Zyklen zeigt von West nach Ost generell eine Abnahme des Alters.

Die paläozoischen Plutonite sind im Norden Chiles in der östlichen Ost-Kordillere, vor allem aber in der Küsten-Kordillere, konzentriert. Die jurassischen Plutonite treten in der Küsten-Kordillere sowie östlich der paläozoischen Granite auf. Die kretazischen Granite sind in den zentralen Anden und im Süden im Küstenbereich sehr weit verbreitet, die tertiären Plutonite auf den Osten und auf den Anden-Bereich beschränkt.

1) Die paläozoischen Granitkörper umfassen ausser normalen Graniten auch noritische, dioritische, tonalitische und granodioritische Gesteine. Anhand der Pb-α-Methode haben die paläozoischen Gesteine folgende Alter (RUIZ et al. 1961; LEVI et al. 1963; RUIZ 1965; Tab. 35):

Tab. 35 : Pb-α-Alter und Vorkommen paläozoischer Tiefengesteine Chiles.

Alter in m.y.	Anzahl der Proben	Vorkommen
340 ± 40 280 ± 50	2	Küsten-Batholith, Taltal-Chañaral (26°S)
238 ± 25	1	Quintero/Valparaiso-Provinz (32°50'S)
450 ± 45– 224 ± 25	25	Küsten-Batholith zwischen Valparaiso und Traiguén (33 - 38°S)
373 ± 40 306 ± 30	2	Rivadavia/Coquimbo (30°S)
265 ± 30	1	Juntas, südöstlich Copiapo/Atacama-Provinz
260	1	Calama/Antofagasta-Provinz (22°40'S)
253 233	2	Chuquicamata/Antofagasta-Provinz (22°17'S)
248 ± 25	1	Potrerillos/Atacama-Provinz (26°30'S)

Tab. 36 : K/Ar- und Rb/Sr-Alter und Vorkommen paläozoischer Tiefengesteine Chiles.

Alter in m.y.	Methode	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
308 und 268 (2 Best.)	Rb/Sr	Quarz-Diorit	69°26'2"W/26°14'S, Atacama-Provinz	HALPERN 1978
288 ± 7	K/Ar	Granitoid	L.Negra,Valparaiso-Provinz	CORDANI et al. 1976
269 ± 4	Rb/Sr	Quarz-Diorit	69°27'10"W/26°13' 30"S, Atacama-Prov.	HALPERN 1978
268	do.	do.	69°20'57"W/26°26'S, Atacama-Provinz	do.
267	K/Ar	Granodiorit	70°38-W/25°39'S, Antofagasta-Prov.	MCNUTT et al. 1975
265 ±20	do.	Gabbro	L. Verde, Valparaiso-Provinz	CORDANI et. al. 1976
262 ±10	do.	Quarz-Diorit	69°52'W/27°59'S, Atacama-Provinz	MCBRIDE et al. 1976
255	Rb/Sr	Diorit	68°26'36"W/24°16'S, Antofagasta-Prov.	HALPERN 1978
253	K/Ar	Quarz-Monzonit	68°58'W/27°01'S, Atacama-Provinz	MCNUTT et al. 1975
252 und 246 (2 Best.)	Rb/Sr	Quarz-Diorit	68°42'27"W/24°12'S, Antofagasta-Prov.	HALPERN 1978
244	do.	do.	69°25'28"W/26°24'S, Atacama-Provinz	do.
235.6±3.5	K/Ar	Granodiorit	69°53'W/28°10'S, Rio Pulido, Atacama-Provinz	FARRAR et al. 1970

Von den paläozoischen Plutoniten liegen 29 chemische Hauptelement-Analysen vor (Tab. 37, Nr. 1 - 29):

Nr. 1, 2, 3: Mela Quarz-Diorit, El Quisco, Valparaiso-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

4: Mela Tonalit, Santo Domingo, Santiago-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

5: Mela Tonalit, Cartagena, Santiago-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

6: Mela Quarz-Diorit, Küsten-Batholith (MUÑOZ CRISTI, pers. Mitt.).

Nr. 7: Quarz-Monzogabbro, El Quisco, Valparaiso-Provinz MUÑOZ CRISTI 1964).

8: Quarz-Norit, Algarrobo, Valparaiso-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

9: Mela Tonalit, Punta de Talea, Valparaiso-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

10: Quarz-Norit, Algarrobo, Valparaiso-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

11: Quarz-Norit, Santo Domingo, Santiago-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

12: Quarz-Norit, San Antonio, Santiago-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

13: Leuco Diorit, Santo Domingo, Santiago-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

14: Quarz-Monzodiorit, Küsten-Batholith (MUÑOZ CRISTI, pers. Mitt.).

15: Quarz-Diorit, Küsten-Batholith (MUÑOZ CRISTI, pers. Mitt.).

16: Tonalit, Küsten-Batholith (MUÑOZ CRISTI, pers. Mitt.).

17: Leuco Quarz-Norit, El Quisco, Valparaiso-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

18: Quarz-Monzodiorit, Küsten-Batholith (MUÑOZ CRISTI, per. Mitt.).

19: Leuco Quarz-Monzodiorit, Küsten-Batholith (MUÑOZ CRISTI, pers. Mitt.).

20: Tonalit, Santo Domingo, Santiago-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

21: Granodiorit, Küsten-Batholith (MUÑOZ CRISTI, pers. Mitt.).

22: Tonalit, El Quisco, Valparaiso-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

23,24: Granodiorit, Küsten-Batholith (MUÑOZ CRISTI, pers. Mitt.).

25: Leuco Monzogranit, El Tabo, Santiago-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

26: Monzogranit, El Quisco, Valparaiso-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

27: Syenogranit, Algarrobo, Valparaiso-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

28: Quarz-reicher Tonalit, El Quisco, Valparaiso-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1964).

29: Leuco Monzogranit, Cordillera Claudio Gay, S-Flanke, 27°06'S/ 68°53'W, Atacama-Provinz (PICHLER & ZEIL 1972, S. 203, Nr.12)

2) Die <u>triassischen bis jurassischen</u> Plutonite umfassen hauptsächlich Quarz-Monzodiorite bis Monzogranite. Granodiorit, Tonalit und Diorit kommen ebenfalls vor. Die triassisch-jurassischen Batholithe sind grobkörnig und bestehen aus undulösem Quarz, Perthit, zoniertem Oligoklas, Biotit und gemeinem Amphibol (AGUIRRE et al. 1974). Die jurassischen Tiefengesteine sind weiter verbreitet als die triassischen

TAB. 37. PALAEOZOISCHE PLUTONITE - CHILE

MAJOR ELEMENTS	1	2	3	4	5	6
SIO2	45,67	45,98	46,48	46,86	47,35	48,13
AL2O3	17,24	14,20	17,68	13,80	14,98	11,71
FE2O3	0,62	1,79	0,57	1,98	0,68	4,22
FEO	7,13	8,02	7,44	7,33	6,21	9,46
MNO	0,17	0,12	0,12	0,13	0,17	0,26
MGO	10,90	14,26	9,44	14,42	14,67	7,50
CAO	10,90	9,35	9,83	9,12	10,20	9,82
NA2O	2,10	1,61	2,45	1,99	1,23	4,00
K2O	0,89	0,45	1,11	0,85	1,15	0,68
TIO2	0,96	0,84	0,96	0,94	0,80	3,10
P2O5	0,20	0,06	0,20	-	0,16	0,22
H2O	3,32	3,52	3,39	2,30	2,19	2,51
TOTAL	100,10	100,19	99,67	99,82	99,79	100,61
CIPW NORM						
OR	5,3	2,7	6,6	5,0	6,8	4,0
AB	14,4	13,6	19,0	16,8	10,4	30,3
AN	35,0	30,2	34,0	26,2	32,0	12,0
NE	1,8	-	0,9	-	-	1,9
DI	14,3	12,7	10,9	15,2	14,0	28,4
HY	-	11,9	-	4,8	11,0	-
OL	22,8	21,3	21,8	24,8	20,6	9,0
MT	0,9	2,6	0,8	2,9	1,0	6,1
IL	1,8	1,6	1,8	1,8	1,5	5,9
AP	0,5	0,1	0,5	-	0,4	0,5
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)						
QUARTZ	5,1	3,5	3,4	5,8	6,8	4,9
ORTHOCLASE	0,8	0,4	1,4	0,6	0,5	1,3
PLAGIOCLASE	30,6	24,0	41,5	16,8	21,3	23,0
ORTHOPYROXENE	3,0	18,4	5,3	11,6	10,6	-
AMPHIBOLE	54,7	30,3	40,3	60,8	54,0	62,3
BIOTITE	3,3	1,1	5,5	2,1	4,9	-
TITANITE	0,8	0,5	0,7	0,6	0,5	6,2
MAGNETITE	1,3	1,4	1,5	1,5	1,0	1,9
ILMENITE	-	0,3	-	0,1	-	-
APATITE	0,4	0,1	0,4	-	0,4	0,5
COLOUR INDEX	63,5	72,1	53,7	76,8	71,4	70,8
Q COORDINATES	14,0	12,4	7,2	25,0	23,9	16,7
A STRECKEISEN	2,3	1,5	3,1	2,5	1,8	4,4
P DOUBLE-	83,7	86,1	89,7	72,5	74,3	78,9
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	3,3	1,4	3,6	2,1	1,3	4,3
TAU RITTMANN	13,1	14,0	13,1	12,6	14,3	2,3

TAB. 37. PALAEOZOISCHE PLUTONITE - CHILE

MAJOR ELEMENTS	7	8	9	10	11	12
SIO2	48.29	48.44	49.11	50.25	51.50	51.64
AL2O3	16.48	16.81	15.85	17.34	19.95	17.43
FE2O3	3.53	0.11	1.80	2.37	0.77	2.18
FEO	5.73	6.95	6.72	6.80	7.54	5.02
MNO	0.12	0.10	0.06	0.15	-	0.16
MGO	6.06	11.45	10.28	6.91	5.79	8.12
CAO	13.27	9.84	8.21	8.70	8.66	10.27
NA2O	1.85	1.76	2.15	2.75	2.65	2.27
K2O	1.12	0.67	2.49	0.79	1.93	0.54
TIO2	0.90	0.71	0.87	1.08	1.06	0.96
P2O5	0.11	0.03	0.07	0.05	-	0.09
H2O	2.40	3.00	2.46	2.91	0.82	1.54
TOTAL	99.91	99.87	100.07	100.10	100.67	100.22
CIPW NORM						
Q	0.0	-	-	0.5	-	2.9
OR	6.6	4.0	14.7	4.7	11.4	3.2
AB	15.7	14.9	18.2	23.3	22.4	19.2
AN	33.4	36.0	26.2	32.6	36.8	35.8
DI	25.6	10.2	11.3	8.3	5.0	11.7
HY	9.2	17.3	4.9	22.2	14.5	20.8
OL	-	13.0	17.9	-	6.5	-
MT	5.1	0.2	2.6	3.4	1.1	3.2
IL	1.7	1.3	1.7	2.1	2.0	1.8
AP	0.3	0.1	0.2	0.1	-	0.2
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)						
QUARTZ	4.8	4.7	8.7	5.4	7.0	8.5
ORTHOCLASE	5.2	0.8	1.8	1.7	2.4	1.0
PLAGIOCLASE	40.7	41.2	30.1	53.1	55.5	47.6
CLINOPYROXENE	2.5	-	-	-	-	-
ORTHOPYROXENE	-	12.2	0.1	7.7	3.3	2.1
AMPHIBOLE	43.1	36.3	41.0	26.5	15.7	37.1
BIOTITE	-	3.2	16.0	3.4	14.5	1.7
TITANITE	1.9	0.4	0.6	0.7	0.4	0.8
MAGNETITE	1.5	1.1	1.7	1.3	1.2	1.1
ILMENITE	-	0.1	-	0.2	-	-
APATITE	0.2	0.1	0.1	0.1	-	0.2
COLOUR INDEX	49.3	53.3	59.5	39.8	35.1	43.0
Q COORDINATES	9.5	10.1	21.4	8.9	10.8	14.9
A STRECKEISEN	10.2	1.7	4.5	2.8	3.8	1.7
P DOUBLE-	80.3	88.2	74.2	88.3	85.5	83.4
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1.7	1.1	3.5	1.7	2.5	0.9
TAU RITTMANN	14.5	20.3	14.6	12.9	16.3	14.4

TAB. 37. PALAEOZOISCHE PLUTONITE - CHILE

MAJOR ELEMENTS	13	14	15	16	17	18
SIO2	53,26	53,49	55,62	56,20	57,01	59,03
AL2O3	21,91	13,84	17,66	14,63	18,96	16,96
FE2O3	0,10	3,91	0,54	1,29	0,45	2,77
FEO	6,99	8,96	6,20	0,52	7,56	4,55
MNO	0,21	0,16	0,26	0,15	0,09	0,15
MGO	3,82	1,23	2,36	3,04	2,31	2,25
CAO	7,62	5,64	7,28	4,60	7,10	6,62
NA2O	4,02	3,76	5,07	4,27	3,44	3,76
K2O	1,91	2,19	1,21	2,04	0,93	2,00
TIO2	0,94	2,59	1,41	1,90	0,95	0,46
P2O5	-	0,56	0,20	0,32	0,07	0,27
H2O	0,51	3,55	2,27	2,35	1,03	1,59
TOTAL	101,29	99,88	100,08	100,31	99,90	100,41
CIPW NORM						
Q	-	8,8	1,6	5,2	9,7	11,8
OR	11,3	12,9	7,2	12,1	5,5	11,8
AB	34,0	31,8	42,9	36,1	29,1	31,8
AN	36,1	14,4	21,9	14,7	33,5	23,5
DI	1,4	8,5	10,9	5,1	1,0	6,3
HY	3,6	7,9	9,5	18,6	17,3	8,1
OL	12,4	-	-	-	-	-
MT	0,1	5,7	0,8	1,9	0,7	4,0
IL	1,8	4,9	2,7	3,6	1,8	0,9
AP	-	1,3	0,5	0,7	0,2	0,6
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)						
QUARTZ	3,8	13,1	5,0	13,9	14,3	13,6
ORTHOCLASE	3,6	8,9	6,0	4,3	2,4	12,1
PLAGIOCLASE	69,7	46,5	65,4	50,7	66,3	53,4
ORTHOPYROXENE	3,7	-	-	0,7	7,5	-
AMPHIBOLE	4,5	14,4	19,6	12,2	2,8	18,1
BIOTITE	12,7	10,0	-	13,8	4,1	-
TITANITE	0,2	3,1	2,4	1,1	0,1	0,5
MAGNETITE	1,6	2,1	1,2	1,9	1,6	1,7
ILMENITE	0,2	0,7	-	0,8	0,7	-
APATITE	-	1,2	0,4	0,7	0,1	0,5
COLOUR INDEX	22,9	31,5	23,6	31,0	17,1	20,8
Q COORDINATES	4,9	19,1	6,5	20,2	17,2	17,2
A STRECKEISEN	4,6	13,0	7,8	6,3	2,9	15,3
P DOUBLE-	90,5	67,9	85,7	73,5	79,9	67,5
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	3,4	3,4	3,1	3,0	1,4	2,1
TAU RITTMANN	19,0	3,2	7,8	4,7	15,2	18,1

TAB. 37. PALAEOZOISCHE PLUTONITE - CHILE

MAJOR ELEMENTS	19	20	21	22	23	24
SIO2	62.01	65.91	65.02	66.93	70.09	70.44
AL2O3	16.21	16.85	15.21	13.58	13.04	13.18
FE2O3	1.93	1.00	2.18	0.92	2.19	1.09
FEO	3.72	3.36	3.28	4.55	1.64	2.92
MNO	0.24	0.08	0.19	0.06	0.10	0.04
MGO	1.57	2.08	0.78	1.82	0.54	2.10
CAO	4.26	5.37	2.66	4.23	1.47	1.30
NA2O	5.13	3.26	5.26	3.75	4.97	5.00
K2O	2.70	1.54	2.22	1.23	2.82	3.25
TIO2	0.72	0.60	0.73	0.45	0.49	0.27
P2O5	0.13	-	0.04	0.08	0.19	0.01
H2O	1.89	0.65	1.39	0.48	1.38	0.85
TOTAL	100.51	100.70	99.86	100.08	99.82	100.45
CIPW NORM						
Q	10.2	24.4	18.9	28.5	26.7	21.7
OR	16.0	9.1	13.1	7.3	16.7	19.2
AB	43.4	27.6	44.5	31.7	42.1	42.3
AN	13.2	26.6	11.3	16.6	6.1	3.9
DI	5.9	-	1.3	3.3	-	2.0
HY	5.5	9.7	4.6	9.9	1.9	8.3
MT	2.8	1.4	3.2	1.3	3.2	1.6
IL	1.4	1.1	1.4	0.9	0.9	0.5
AP	0.3	-	0.1	0.2	0.4	0.0
C	-	0.1	-	-	0.5	-
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)						
QUARTZ	11.8	30.7	21.7	32.3	28.5	25.2
ORTHOCLASE	18.3	0.5	11.2	4.1	12.8	11.8
PLAGIOCLASE	55.2	54.9	56.6	48.5	50.3	50.1
AMPHIBOLE	11.9	-	2.9	0.0	-	6.0
BIOTITE	-	13.4	5.8	4.5	7.2	5.5
TITANITE	1.0	-	0.3	0.3	-	0.1
MAGNETITE	1.6	0.5	1.4	1.2	0.6	1.1
ILMENITE	-	-	0.3	-	0.2	-
APATITE	0.3	-	0.1	0.2	0.4	-
COLOUR INDEX	14.7	14.0	10.5	15.1	8.4	12.8
Q COORDINATES	13.8	35.7	24.2	38.1	31.1	28.9
A STRECKEISEN	21.4	0.5	12.5	4.8	14.0	13.6
P DOUBLE-	64.8	63.8	63.3	57.1	54.9	57.5
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	3.2	1.0	2.4	1.0	2.2	2.5
TAU RITTMANN	13.0	22.6	12.9	19.5	13.2	20.2

TAB. 37. PALAEOZOISCHE PLUTONITE - CHILE

MAJOR ELEMENTS	25	26	27	28	29
SIO2	74,67	75,08	75,12	75,52	76,10
AL2O3	12,40	12,43	12,27	12,61	12,60
FE2O3	0,47	0,54	0,64	0,44	0,50
FEO	1,87	1,95	0,15	2,91	0,65
MNO	0,04	0,04	-	0,02	0,03
MGO	0,25	0,57	2,30	0,36	0,10
CAO	2,31	1,80	1,06	3,49	0,70
NA2O	2,75	2,73	2,56	3,49	3,30
K2O	4,44	4,77	5,71	1,05	4,90
TIO2	0,33	0,12	0,06	0,36	0,10
P2O5	-	-	-	0,01	-
H2O	0,35	0,44	-	0,30	1,00
TOTAL	99,88	100,47	99,87	100,56	99,98

CIPW NORM

Q	35,8	35,2	32,7	41,5	36,2
OR	26,2	28,2	33,7	6,2	29,0
AB	23,3	23,1	21,7	29,5	27,9
AN	8,4	7,6	5,1	15,6	3,5
DI	2,7	1,1	0,1	1,4	-
HY	1,8	3,8	5,7	4,6	0,9
MT	0,7	0,8	0,3	0,6	0,7
HM	-	-	0,4	-	-
IL	0,6	0,2	0,1	0,7	0,2
AP	-	-	-	0,0	-
C	-	-	-	-	0,6

RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)

QUARTZ	36,2	36,2	35,9	43,5	36,1
ORTHOCLASE	33,3	34,2	37,2	4,2	38,1
PLAGIOCLASE	25,6	24,2	17,2	45,9	23,5
AMPHIBOLE	3,7	3,2	0,7	3,2	-
BIOTITE	-	1,5	8,8	2,3	-
MUSCOVITE	-	-	-	-	0,6
GARNET	-	-	-	-	1,5
TITANITE	0,6	0,1	-	0,2	-
MAGNETITE	0,5	0,6	0,2	0,6	0,2
ILMENITE	-	-	-	0,1	0,1
COLOUR INDEX	4,9	5,4	9,7	6,4	2,3
Q COORDINATES	38,1	38,3	39,8	46,5	37,0
A STRECKEISEN	35,0	36,2	41,2	4,4	39,0
P DOUBLE-	26,9	25,6	19,1	49,1	24,0
F TRIANGLE	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1,6	1,8	2,1	0,6	2,0
TAU RITTMANN	29,2	80,8	161,8	24,6	93,0

Tab. 38: Alter und Vorkommen triassisch-jurassischer Plutonite Chiles.

Alter in m.y.	Methode	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
226 ±25	Pb-α	Granit	70°51.3'W/27°3.7'S, Caldera, Atacama	zitiert in GONZALEZ-BONORINO & AGUIRRE 1970
182 ± 6	K/Ar	do.	do.	zitiert in MONTECINOS 1979
226 ±25	Pb-α	?	69°26'W/26°25'S, Atacama	do.
219	do.	?	30°20'S, Pen.Lengua de Vaca, Coquimbo	zitiert in GONZALEZ-BONORINO & AGUIRRE 1970
218	Rb/Sr	Tonalit	70°27'10"W/26°19'S, Atacama	HALPERN 1978
213 ±20	Pb-α	Granit	70°6.3'W/22°6'S, Tocopilla, Antofagasta	zitiert in MONTECINOS 1979
200 ±20	do.	Granodiorit	70°32.1'W/23°6.4'S, Morro de Mejillones, Antofagasta	do.
191 ±5.8	K/Ar	Quarz-Diorit	70°41'W/26°34'S, Puerto Flamenco, Atacama	do.
190.5±2.9	do.	Tonalit	do.	FARRAR et al.1970
191 ± 4	do.	Granitoid	Santo Domingo, Santiago	CORDANI et al. 1976
189 ±8.8	do.	Diorit	70°34'W/25°54'S, Q. La Cachina, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979
188.2±2.9	do.	Granodiorit	70°40'W/26°25'S, Chañaral, Atacama	FARRAR et al.1970
188 ±5.8	do.	do.	70°40'W/26°22'S, Chañaral, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979
187.2±2.9	do.	Tonalit	70°47'W/27°S, Caldera, Atacama	FARRAR et al.1970
182.1±2.8	do.	do.	70°50'W/27°11'S, Morro de Copiapo, Atacama	do.
181.8±2.8	do.	Granodiorit	70°56'W/27°20'S, Puerto Vicio, Atacama	do.
177 ±5.4	do.	Quarz-Diorit	70°34'W/26°35'S, Puerto Flamenco, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979
177	do.	do.	do.	MCNUTT et al.1975
176 ±5.4	do.	do.	70°47'W/26°49'S, Puerto Zenteno, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979

Tab. 38: Fortsetzung

Alter in m.y.	Methode	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
173 ±20	Pb-α	Granodiorit	71°35'W/31°19'S, Huentelauquen, Coquimbo	MUNIZAGA 1972
173 ±20	do.	Tonalit	71°24'W/31°53'S, Mincha, Coquimbo	do.
147	K/Ar	do.	do.	do.
171 ±20	Pb-α	Granodiorit	71°32'W/30°36'S, Fray Jorge, Coquimbo	zitiert in AGUIRRE et al.1974
171 ±20	do.	Diorit	71°32'W/30°40'S, Rio Limari, Coquimbo	do.
170 ±20	do.	Granodiorit	71°23'W/32°36'S, Catapilco,Aconcagua	LEVI et al. 1963
169 ±20	do.	?	71°35'W/30°55'S, Pena Blanca, Coquimbo	zitiert in AGUIRRE et al. 1974
169 ±10	do.	Diorit	69°40'W/23°30'S, San Cristobal, Antofagasta	zitiert in MONTECINOS 1979
168 ±20	do.	Granit	68°36.3'W/24°9'S, Aqunda Fuquios, Antofagasta	do.
163 ±20	do.	Gabbro	70°17.4'W/18°36.7'S, Q. Mal Pazo, Tarapaca	do.
160 ±20	do.	Monzogranit	71°25'W/32°29'S, Papuda, Aconcagua	LEVI et al. 1963
160	Rb/Sr	Quarz-Diorit	70°32'16"W/23°6'S, Mejillones Peninsula, Antofagasta	HALPERN 1978
159 ±20	Pb-α	Granit	70°5.5'W/22°31.2'S, Q. Tames, Antofag.	zitiert in MONTECINOS 1979
158 ±20	do.	Granodiorit	70°25.7'W/23°48.1' S, Caleta Coloso, Antofagasta	do.
158 ±20	do.	Granit	70°21.8'W/26°49.6' S, Inca de Oro,Atacama	do.
158 ±20	do.	Granodiorit	71°17'W/28°44.4'S, Q. A. del Pollo, Atacama	do.
156 ±20	do.	Granit	70°12.6'W/22°58.3' S, Panizoz Blancos, Antofagasta	do.

Tab. 38: Fortsetzung

Alter in m.y.	Methode	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
156 ±20	Pb-α	Tonalit	70°24.8'W/23°17.8'S, Cerro Gordo, Antofag.	zitiert in MONTECINOS 1979
156 ±15	do.	Granodiorit	71°32'W/29°57'S, Herradura, Coquimbo	MUNIZAGA 1972
156 ± 8	K/Ar	Quarz-Monzodiorit	71°9'W/29°47'S, Lambert, Coquimbo	zitiert in AGUIRRE et al. 1974
155 ±20	Rb/Sr	Granodiorit	Magellan Basin	HALPERN 1973
155	Pb-α	do.	69°36.8'W/18°10.3's, Putre, Tarapaca	zitiert in MONTECINOS 1979
151 ±10	Rb/Sr	Granit	73°33'W/52°12'S, Puerto Año Nuevo	HALPERN & CARLIN 1971
151 ±4.4	K/Ar	Diorit	70°56'W/28°6'S, Q. Los Apestados, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979
150 ±20	Pb-α	do.	70°17'W/18°35.6'S, Q. Mal Pazo, Tarapaca	do.
150 ±20	do.	Granodiorit	70°17'W/23°49.6'S, La Negra, Antofagasta	do.
150 ± 7	K/Ar	do.	Q. Camarones, Tarapaca	do.
148 ±8.8	do.	Diorit	70°56'W/28°8'S, Canto del Agua, Atacama	do.
148 ± 7	do.	Quarz-Monzonit	70°36'W/26°23'S, Rio Salado, Atacama	do.
148 ±4.6	do.	Diorit	70°54'W/28°5'S, Cerro Bajo, Atacama	do.
147 ±5.7	do.	Granodiorit	70°28'W/26°23'S, Rio Salado, Atacama	do.
147	do.	do.	70°23'W/26°33'S, Atacama	MCNUTT et al.1975
145 ±20	Pb-	Gabbro	70°17.4'W/18°35.9'S, Q. Mal Pazo, Tarapaca	zitiert in MONTECINOS 1979
144 ±4.4	K/Ar	Quarz-Monzonit	70°29'W/26°22'S,Cerro Vetado, Atacama	do.
144 ±2.2	Pb-α	?	69°26'W/26°25'S, Q. Asientos, Atacama	do.
143.5±2.2	K/Ar	Granit	70°33'W/26°25'S,Cerro Vetado, Atacama	FARRAR et al.1970
143 ± 5	do.	Granodiorit	Q. Camarones, Tarapaca	zitiert in MONTECINOS 1979
140 ±20	Pb-α	do.	70°6.6'W/19°6'S, Q. Camarones, Tarapaca	do.
140 ± 5	do.	do.	70°3.2'W/19°4.4'S, Q. Camarones, Tarapaca	do.

TAB. 39. TRIASSISCH-JURASSISCHE PLUTONITE - CHILE

MAJOR ELEMENTS	1	2	3	4
SIO2	57,34	63,40	64,10	65,50
AL2O3	15,77	15,46	16,55	16,50
FE2O3	4,74	0,97	4,57	4,20
FEO	3,13	4,59	-	-
MNO	0,05	0,07	0,09	0,09
MGO	4,78	2,62	2,94	2,66
CAO	5,73	4,45	3,63	4,05
NA2O	3,66	3,64	3,24	3,58
K2O	1,54	2,68	3,44	2,77
TIO2	0,69	0,37	0,69	0,67
P2O5	0,33	0,21	0,16	0,15
H2O	1,96	-	-	-
TOTAL	99,72	98,46	99,41	100,17

CIPW NORM				
Q	12,2	16,5	20,4	21,9
OR	9,1	15,8	20,3	16,4
AB	31,0	30,8	27,4	30,3
AN	22,1	17,9	17,0	19,1
DI	3,3	2,3	-	-
HY	11,1	12,5	7,3	6,6
MT	6,9	1,4	-	-
HM	-	-	4,6	4,2
IL	1,3	0,7	0,2	0,2
RU	-	-	0,6	0,6
AP	0,8	0,5	0,4	0,3
C	-	-	1,3	0,6

RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)				
QUARTZ	15,3	22,7	25,2	26,4
ORTHOCLASE	3,2	12,0	13,1	8,8
PLAGIOCLASE	53,6	46,8	42,9	48,7
ORTHOPYROXENE	4,8	-	-	-
AMPHIBOLE	10,8	7,1	-	-
BIOTITE	9,7	9,6	17,8	15,2
TITANITE	0,2	0,1	-	-
MAGNETITE	1,7	1,4	0,6	0,5
APATITE	0,7	0,4	0,3	0,3
COLOUR INDEX	28,0	18,5	18,7	16,0
Q COORDINATES	21,2	27,8	31,0	31,5
A STRECKEISEN	4,5	14,7	16,2	10,5
P DOUBLE-	74,3	57,5	52,8	58,0
F TRIANGLE	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1,9	2,0	2,1	1,8
TAU RITTMANN	11,9	20,4	15,7	15,9

Von den triassisch-jurassischen Plutoniten Chiles existieren nur vier chemische Hauptelement-Analysen (Tab. 39, Nr. 1 - 4):

Nr. 1: Tonalit, Barriles, Küsten-Kordillere, an der Bahn Tocopilla--Toco, Antofagasta-Provinz (HAUSEN 1938, S. 170, "Pyroxen--Granodiorit").

2: Granodiorit, Tocopilla, Antofagasta-Provinz (PALACIOS 1973, "Granodiorit").

3: Granodiorit, Domeyko, Atacama-Provinz (MONTECINOS 1979, S. E105, Nr. D-5, "Granodiorit").

4: Granodiorit, Domeyko, Atacama-Provinz (MONTECINOS 1979, S. E105, Nr. D-4, "Quarz-Monzonit").

3) Die kretazischen Granitkörper bestehen aus Granodiorit, Diorit, Quarz-Diorit, Tonalit und Granit. Quarz-Monzonit, Tonalit und Gabbro kommen ebenfalls vor, sind aber sehr begrenzt. Die Intrusiv-Gesteine bestehen hauptsächlich aus Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas (Oligoklas-Andesin), Biotit, Amphibol und Klinopyroxen.

Tab. 40: Alter und Vorkommen kretazischer Plutonite Chiles.

Alter in m.y.	Methode	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
142 ±20	Rb/Sr	Diorit	74°44'W/51°28'S, Isla Daroch	HALPERN & CARLIN 1971
138 ±20	do.	Tonalit	do.	HALPERN 1973
122 ± 6	K/Ar	do.	do.	do.
142 ± 7	do.	Diorit	73°41'W/51°46'S, Bahia Stewart	do.
135 ± 7	Rb/Sr	do.	do.	do.
140 ±50	do.	do.	75°8'W/50°28'S, Isla Caracciolo	HALPERN & CARLIN 1971
122 ± 6	K/Ar	Quarz-Diorit	do.	HALPERN 1973
120 ± 8	Rb/Sr	do.	do.	do.
137 ±4.4	K/Ar	do.	70°24'W/26°33'S, Q. Guachango, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979
137	do.	do.	do.	MCNUTT et al.1975
136 ±15	Pb-∝	Granodiorit	71°21'W/29°59'S, Las Rojas, Coquimbo	MUNIZAGA 1972
135 ± 8	Rb/Sr	Diorit	73°38'W/52°10'S, Bahia Isthmus	HALPERN & CARLIN 1971
134 ±20	Pb-∝	Granodiorit	71°20'W/30°4'S, Tamaya, Coquimbo	MUNIZAGA 1972
134 ±15	do.	do.	70°24.1'W/23°51.8'S, Caleta, Bolfin, Antofagasta	zitiert in MONTECINOS 1979

Tab. 40: Fortsetzung

Alter in m.y.	Methode	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
133 ± 6	K/Ar	Granodiorit	74°40'W/50°38'S, Isla Frolin	HALPERN 1973
132 ± 6	Rb/Sr	do.	do.	do.
131 ± 7	K/Ar	Tonalit	73°56'W/51°28'S, Peninsula Staines	do.
122 ± 5	Rb/Sr	do.	do.	do.
130 ±20	Pb-α	do.	70°55'W/28°7.9'S, Carrizal Alto, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979
130 ±15	do.	Granit	Catemu, Aconcagua	RUIZ et al. 1961
128 ±15	do.	Granodiorit	71°19'W/30°56'S, Punitaqui, Caquimbo	MUNIZAGA 1972
125 ±15	do.	do.	Iquique (Punta Negra), Tarapaca	RUIZ et al. 1961
125 ±15	do.	do.	71°3'W/30°41'S, Montepatria, Coquimbo	zitiert in AGUIRRE et al. 1974
125 ± 8	Rb/Sr	Diorit	70°5'W/50°32'S, Isla Duque de York	HALPERN & CARLIN 1971
125 ± 4	K/Ar	Granodiorit	70°15'W/26°37'S, Q. Guamango, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1971
117 ±3.8	do.	Quarz-Diorit	do.	do.
117	do.	Granodiorit	do.	MCNUTT et al.1975
112 ±3.4	do.	Quarz-Diorit	do.	zitiert in MONTECINOS 1979
125	do.	Granodiorit	70°21'W/26°33'S, Atacama	MCNUTT et al. 1975
123.5	do.	Granit	70°10'W/22°3'S, Tocopilla, Antofag.	zitiert in MONTECINOS 1979
123 ±20	Pb-α	Granodiorit	71°5'W/32°19'S, Pedegua	MUNIZAGA 1972
123 ±3.8	K/Ar	do.	70°20'W/26°25'S, Rio Salado, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979
do.	do.	Quarz-Diorit	70°31'W/27°22'S, Monardes, Atacama	do.
121 ±10	Pb-α	Diorit	70°14.5'W/26°52.4'S Minas Della Catar, Atacama	do.
121 ±3.8	K/Ar	Quarz-Diorit	70°37'W/27°27'S, S. Monardes, Atacama	do.

Tab. 40: Fortsetzung

Alter in m.y.	Methode	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
120 ±20	Pb-α	Monzogranit	71°16'W/32°35'S, Cuesta El Melón, Aconcagua	LEVI et al. 1963
120 ±20	do.	Tonalit	70°36.3'W/27°22.3'S, Q.Margarita, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979
120 ±15	do.	Quarz-Monzonit	69°47.4'W/20°20'S, Pozo Almonte, Tarapaca	RUIZ et al. 1961
120 ±3.8	K/Ar	Quarz-Diorit	70°50'W/28°13'S, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979
120	do.	do.	70°10'11"W/24°6'S, Antofagasta	HALPERN 1978
119 ± 6	Rb/Sr	do.	73°43'W/52°8'S, Bahia Sandy	HALPERN 1973
117 ± 6	K/Ar	do.	do.	do.
118	do.	Tonalit	71°8'W/33°20'S, Puangue	CORVALAN & MUNIZAGA 1972
118	do.	Quarz-Diorit	70°32'16"W/23°25'S, Antofagasta	HALPERN 1978
110 ±1.1	do.	Granodiorit	Rungé-Batholith, Aconcagua	DRAKE et al. 1976
109 ±10	Pb-α	do.	71°21'W/29°59'S, Pan de Azucar, Coquimbo	MUNIZAGA 1972
109 ±10	do.	Granit	70°57'W/31°45'S,Salamanca	do.
108.5	K/Ar	Diorit	71°10'W/29°48'S, Santa Ines Mine, Coquimbo	zitiert in AGUIRRE et al. 1974
107	do.	Granodiorit	71°10'W/29°43'S, Balboa Creek, Coquimbo	do.
105	do.	do.	do.	do.
107	do.	Quarz-Diorit	70°24'W/27°24'S, Pampa Travesia, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979
106.9±1.7	do.	Granodiorit	do.	FARRAR et al. 1970
105 ±10	Pb-α	do.	70°7'W/27°49'S, Los Loros, Rio Copiapo, Atacama	RUIZ et al. 1961
104 ±10	do.	Granit	71°9'W/31°41'S, Illapel, Coquimbo.	MUNIZAGA 1972
92	K/Ar	do.	do.	do.
102 ±10	Pb-α	Granodiorit	70°41.2'W/27°49.5'S, Pique Facio, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979

Tab. 40 : Fortsetzung

Alter in m.y.	Methode	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
100 ±10	Pb-α	Granodiorit	69°49.4'W/20°00.1'S, Huara, Tarapaca	RUIZ et al. 1961
98	K/Ar	Monzogranit	71°5'W/29°45'S, Santa Gracia, Coquimbo	zitiert in AGUIR-Re et al. 1974
89 ± 6	do.	do.	do.	do.
95.5+1.5	do.	Quarz-Diorit	70°28'W/27°42'S, Pampa Travesia, Atacama	FARRAR et al. 1970
95	do.	Granodiorit	71°6'W/29°57'S, Punta de Piedra, Coquimbo	zitiert in AGUIR-RE et al. 1974
93.8	do.	do.	do.	do.
94 ± 6	Rb/Sr	Quarz-Diorit	70°47'W/54°55'S, Isla Londonderry	HALPERN 1973
91 ± 5	K/Ar	do.	do.	do.
88 ± 5	Rb/Sr	do.	do.	HALPERN & CARLIN 1971
93 ± 10	Pb-α	?	70°25'W/27°18'S, SW Toiado, Atacama	zitiert in MONTE-CINOS 1979
92 ± 10	do.	Granit	70°29'W/27°22'S, San Monardes, Atacama	do.
90 ± 5	K/Ar & Rb/Sr	Quarz-Diorit	74°13'W/50°59'S, Puerto Bueno	HALPERN 1973
90.4	K/Ar	Hbl.-Gabbro	71°9'W/29°47'S, Lambert, Coquimbo	zitiert in AGUIR-RE et al. 1974
89 ±10	Pb-α	Granodiorit	70°54'W/31°49'S, Salamanca, Coquimbo	MUNIZAGA 1972
88 ± 5	K/Ar	Quarz-Diorit	69°48'W/54°58'S, Bahia Tres Brazos	HALPERN 1973
80 ±10	Rb/Sr	do.	do.	HALPERN et al.1970
87 ± 5	K/Ar	do.	71°W/54°7'S, Puerta Hope	HALPERN 1973
85 ±10	Rb/Sr	do	do.	HALPERN & CARLIN 1971
87.1±2.8	K/Ar	Quarz-Diorit	70°10'W/28°42'S, Sierra Varas, Atacama	zitiert in MONTE-CINOS 1979
87.1+1.4	do.	Granodiorit	70°42'W/28°42'S, Sierra Varas, Atacama	FARRAR et al. 1970
85 ± 5	do.	Quarz-Diorit	70°19'W/54°50'S, Seno Ventisquero	HALPERN 1973
79 ± 5	Rb/Sr	do.	do.	HALPERN & CARLIN 1971

Tab. 40 : Fortsetzung

Alter in m.y.	Methode	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
83	K/Ar	Granodiorit	71°01'W/33°05'S, La Campanu	TIDY 1970, zitiert in AGUIRRE et al. 1974
82	Pb-α	Diorit	69°23.5'W/19°52.1'S, Pachica, Tarapaca	zitiert in MONTECINOS 1979
80	do.	Tonalit	69°18.6'W/19°51.4'S, Q. Tarapaca	do.
77 ± 10	Rb/Sr	Quarz-Diorit	Puerte Hope, Canal Magdalena	HALPERN et al. 1970
77 ± 7	K/Ar	Diorit	74°12'W/50°52'S, Cabo San Antonio	HALPERN 1973
77 ± 5	do.	do.	71°31'25"W/53°57'35"S, Cascade Bay	HALPERN 1962
77 ± 5	Rb/Sr	Diorit-Gabbro	68°9'W/54°55'S, E Santa Rosa	HALPERN et al. 1970
70 ± 5	do.	Quarz-Diorit	71°7'W/54°26'S, Pta. Pirando	HALPERN 1973
68 ± 6	do.	Diorit	69°25'S/54°53'S, Ventisquero Alemania	do.
66 ± 4	K/Ar	do.	do.	do.
66.6±1.2	do.	Quarz-Diorit	70°31'W/28°20'S, Q. Algarrobal, Atacama	FARRAR et al. 197
66	do.	Gabbro	71°7'W/32°57'S, La Campana	TIDY 1970, zitier in AGUIRRE et al 1974

Von den kretazischen Plutoniten Chiles liegen 16 chemische Hauptelement Analysen vor (Tab. 41, Nr. 1 - 16):

Nr. 1: Mela Quarz-Diorit, NW de Vallenar (70°50'W/28°45'S), Atacama--Provinz (MUÑOZ CRISTI 1958, "Gabbro").

2: Nephelin-führender Monzodiorit, NW de Vallenar, Atacama-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1958, "Diorit").

3: Quarz-Gabbro, NW de Vallenar, Atacama-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1958, "Gabbro").

4,5: Tonalit, Domeyko (MONTECINOS 1979, S. E105, Nr. D-48, D-50, "Quarz-Diorit").

6,7: Mela Granodiorit, La Higuera Distrikt (71°10'W/29°30'S), Coquimbo-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1950).

TAB. 41. KRETAZISCHE PLUTONITE - CHILE

MAJOR ELEMENTS	1	2	3	4	5	6	7	8
SIO2	53.92	54.22	54.39	58.00	58.20	60.24	60.71	61.20
AL2O3	16.03	15.58	20.83	17.72	17.75	13.22	10.64	16.44
FE2O3	0.90	2.99	0.91	6.24	5.65	6.55	6.98	5.90
FEO	4.90	3.64	3.28	-	-	4.31	5.88	-
MNO	-	-	-	0.16	0.12	-	-	0.12
MGO	8.62	4.67	5.58	4.84	4.63	2.31	2.01	3.40
CAO	10.32	9.88	10.55	5.59	5.89	4.25	6.86	4.89
NA2O	3.81	4.41	3.32	3.63	3.55	3.90	3.37	3.26
K2O	0.66	2.02	0.61	1.91	1.79	1.82	1.73	2.60
TIO2	-	-	-	0.68	0.66	0.21	-	0.78
P2O5	-	-	-	0.21	0.21	0.53	-	0.18
CO2	-	0.49	0.32	-	-	-	-	-
H2O	0.95	1.86	0.96	-	-	1.65	1.51	-
TOTAL	100.31	99.76	100.75	98.98	98.45	98.99	99.69	98.77
CIPW NORM								
Q	-	-	2.5	11.0	11.9	19.5	19.9	17.4
OR	3.9	11.9	3.6	11.3	10.6	10.8	10.2	15.4
AB	32.2	36.7	28.1	30.7	30.0	33.0	28.5	27.6
AN	24.7	16.8	40.1	26.4	27.2	13.2	8.8	22.5
NE	-	0.3	-	-	-	-	-	-
DI	22.1	23.4	8.2	-	-	3.6	20.3	-
WO	-	-	-	-	-	-	0.3	-
HY	4.8	-	15.2	12.1	11.5	6.2	-	8.5
OL	10.3	3.3	-	-	-	-	-	-
MT	1.3	4.3	1.3	-	-	9.5	10.1	-
HM	-	-	-	6.2	5.7	-	-	5.9
IL	-	-	-	0.3	0.3	0.4	-	0.3
RU	-	-	-	0.5	0.3	-	-	0.5
TN	-	-	-	-	0.4	-	-	0.4
AP	-	-	-	0.5	0.5	1.2	-	0.4
C	-	-	-	0.0	-	-	-	-
CC	-	1.1	0.7	-	-	-	-	-
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)								
QUARTZ	5.3	-	7.0	19.1	15.7	22.4	19.3	23.7
ORTHOCLASE	1.7	13.2	2.0	-	3.4	5.2	12.4	5.9
PLAGIOCLASE	45.5	53.9	62.9	54.2	58.4	46.3	38.2	48.8
NEPHELINE	-	0.1	-	-	-	-	-	-
CLINOPYROXENE	-	18.1	-	-	-	-	16.6	-
ORTHOPYROXENE	-	-	-	-	6.1	-	-	-
AMPHIBOLE	46.2	11.6	26.5	-	2.0	12.1	10.5	1.9
BIOTITE	-	-	-	25.5	12.6	10.2	-	18.2
TITANITE	-	-	-	-	-	0.1	-	-
MAGNETITE	1.3	1.8	0.8	0.8	1.1	2.6	3.0	1.2
ILMENITE	-	-	-	-	0.1	-	-	-
APATITE	-	-	-	0.4	0.4	1.1	-	0.4
CALCITE	-	1.2	0.8	-	-	-	-	-
COLOUR INDEX	47.5	32.7	28.1	26.7	22.4	26.1	30.1	21.6
Q COORDINATES	10.1	-	9.8	26.0	20.3	30.3	27.6	30.2
A STRECKEISEN	3.1	19.7	2.8	-	4.4	7.1	17.7	7.6
P DOUBLE-	86.7	80.1	87.4	74.0	75.3	62.6	54.7	62.2
F TRIANGLE	-	0.2	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1.8	3.7	1.4	2.0	1.9	1.9	1.5	1.9
TAU RITTMANN	-	-	-	15.8	16.3	12.6	-	13.7

TAB. 41. KRETAZISCHE PLUTONITE - CHILE

MAJOR ELEMENTS	9	10	11	12	13	14	15	16
SIO2	62,12	63,64	63,80	65,10	67,00	68,43	71,10	71,52
AL203	18,04	17,99	13,65	16,11	16,66	12,08	10,80	11,17
FE203	0,93	0,27	4,00	5,12	3,76	3,01	3,17	2,38
FEO	3,95	3,72	4,63	-	-	3,79	3,26	2,51
MNO	-	-	-	0,09	0,09	-	-	-
MGO	2,68	2,58	2,21	2,65	1,87	4,61	0,89	1,46
CAO	5,81	6,16	4,74	3,63	2,60	2,42	2,92	2,15
NA2O	3,77	3,58	4,12	3,14	3,67	3,27	3,79	4,38
K2O	1,47	1,08	1,68	3,68	3,61	1,63	2,03	1,85
TIO2	-	-	-	0,80	0,66	0,02	-	0,54
P2O5	-	-	-	0,14	0,16	-	-	-
CO2	-	0,20	-	-	-	-	-	-
H2O	0,62	0,62	0,90	-	-	0,84	2,08	1,53
TOTAL	99,39	99,84	99,73	100,46	100,08	100,10	100,04	99,49

CIPW NORM

Q	15,4	19,2	19,7	21,4	23,9	29,1	33,9	32,5
OR	8,7	6,4	9,9	21,7	21,3	9,6	12,0	10,9
AB	31,9	30,3	34,9	26,6	31,1	27,7	32,1	37,1
AN	28,0	29,3	13,8	17,1	11,9	12,0	6,5	5,4
DI	0,7	-	8,0	-	-	-	6,7	4,3
HY	12,8	13,0	6,7	6,6	4,7	15,9	2,2	3,3
MT	1,3	0,4	5,8	-	-	4,4	4,6	3,5
HM	-	-	-	5,1	3,8	-	-	-
IL	-	-	-	0,2	0,2	0,0	-	1,0
RU	-	-	-	0,7	0,6	-	-	-
AP	-	-	-	0,3	0,4	-	-	-
C	-	0,2	-	0,7	2,4	0,5	-	-
CC	-	0,5	-	-	-	-	-	-

RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)

QUARTZ	20,5	26,3	20,8	26,0	24,7	37,1	34,5	32,8
ORTHOCLASE	3,2	-	10,6	14,7	20,0	-	13,9	9,6
PLAGIOCLASE	60,3	56,7	47,7	41,9	39,8	34,9	38,6	44,6
CLINOPYROXENE	-	-	-	-	-	-	2,1	-
ORTHOPYROXENE	3,1	-	-	-	-	-	-	-
AMPHIBOLE	2,6	-	18,8	-	-	-	9,2	11,2
BIOTITE	9,3	16,1	-	16,3	9,6	27,2	-	-
CORDIERITE	-	-	-	-	4,8	-	-	-
TITANITE	-	-	-	-	-	-	-	0,6
MAGNETITE	1,1	0,5	2,1	0,6	0,5	0,8	1,5	1,1
ILMENITE	-	-	-	0,1	0,3	-	-	0,1
APATITE	-	-	-	0,3	0,3	-	-	-
CALCITE	-	0,4	-	-	-	-	-	-
COLOUR INDEX	16,1	17,0	20,9	17,4	15,5	28,0	12,9	13,0
Q COORDINATES	24,4	31,7	26,3	31,4	29,2	51,6	39,6	37,6
A STRECKEISEN	3,8	-	13,4	17,8	23,7	-	16,0	11,0
P DOUBLE-	71,8	68,3	60,3	50,7	47,1	48,4	44,3	51,3
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1,4	1,1	1,6	2,1	2,2	0,9	1,2	1,4
TAU RITTMANN	-	-	-	13,8	15,8	440,5	-	12,6

Nr. 8: Granodiorit, Domeyko (MONTECINOS 1979, S. E105, Nr. D-21, "Granodiorit").

9,10: Tonalit, NW Vallenar (70°50'W/28°45'S), Atacama-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1958, "Granodiorit").

11: Granodiorit, La Higuera Distrikt (71°10'W/29°30'S), Coquimbo-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1950, "Granodiorit").

12: Granodiorit, Domeyko, Atacama-Provinz (MONTECINOS 1979, S. E105, Nr. D-27, "Granit").

13: Granodiorit, Domeyko, Atacama-Provinz (MONTECINOS 1979, S. E105, Nr. D-24, "Quarz-Monzonit").

14: Quarz-reicher Tonalit, La Higuera Distrikt (71°10'W/29°30'S), Coquimbo-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1950, "Quarz-Diorit").

15: Granodiorit, La Higuera Distrikt, Coquimbo-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1950, "Granodiorit").

16: Granodiorit, La Higuera Distrikt, Coquimbo-Provinz (MUÑOZ CRISTI 1950, "Granit").

4) Petrographisch umfassen die tertiären Plutonite hauptsächlich Granodiorite, Diorite, Tonalite und Porphyrite. Diese Gesteine bestehen aus Oligoklas-Andesin, Orthoklas, Augit, Hornblende, Biotit und gewöhnlichem Quarz (AGUIRRE et al. 1974).

Tab. 42: Alter und Vorkommen tertiärer Tiefengesteine Chiles.

Alter in m.y.	Methode	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
64.4±1.1	K/Ar	Quarz-Monzonit	70°2'W/28°9'S, Hacienda Manflas, Atacama	FARRAR et al. 1970
62.3± 1	do.	do.	do.	do.
64 ±10	Pb-α	Granodiorit	70°48'W/31°34'S, Salamanca, Coquimbo	MUNIZAGA 1972
64 ±10	do.	do.	70°4.1'W/27°35.7'S, Q. Cerrilos, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979
63.3± 2	K/Ar	do.	70°29'W/28°32'S, Q. Algarrobal, Atacama	do.
63 ± 5	Rb/Sr	Diorit	73°57'W/51°48'S, Isla Tabara	HALPERN 1973
29 ± 3	K/Ar	do.	do.	do.
63 ± 2	do.	do.	70°10'W/27°35'S, Pampa Larga, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979
62.5± 2	do.	Granodiorit	70°28'W/28°20'S, Q. Algarrobal, Atacama	do.

Tab. 42: Fortsetzung

Alter in m.y.	Methode	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
62 ± 1	K/Ar	Granodiorit	71°1'W/35°43'S, Melado-Pluton	DRAKE 1976
61.8± 1	do.	Quarz-Monzonit	70°8'W/27°49'S, Los Loros, Atacama	FARRAR et al.1970
60.8± 1	do.	do.	70°6'W/27°27'S, Q.Los Condores, Atacama	do.
60.6± 1	do.	do.	70°W/27°7'S,Cachiyuyo de Oro, Atacama	do.
60.4± 1	do.	do.	69°43'W/27°19'S, Q. San Miguel, Atacama	do.
60 ±10	Pb-α	Adamellit	74°29'W/52°7'S, Isla Providencia	LEVI et al. 1963
59.8±0.9	K/Ar	Quarz-Monzonit	70°30'W/28°18'S, Q. Algarrobal, Atacama	FARRAR et al.1970
59 ±0.9	do.	do.	70°9'W/27°42'S,Aguada Maray, Atacama	do.
56 ±10	Pb-α	Diorit	70°43'W/30°12'S, Vicuna Viereck,Coquimbo	DEDIOS 1967
53 ±10	do.	do.	69°43'W/18°18.3'S, Mina Campanini, Tarapaca	zitiert in MONTECINOS 1979
53 ±10	do.	Granodiorit	70°5.3'W/27°35.8'S, Cabaza de Vaca, Atac.	do.
52 ±10	do.	do.	70°42'W/31°53'S, Cuncumén, Coquimbo	MUNIZAGA 1972
51 ±10	do.	do.	70°1.8'W/27°35.2'S, Cabaza de Vaca, Atac.	zitiert in MONTECINOS 1979
50 ±20	do.	Quarz-Monzonit	70°21'W/32°59'S, Riecillo Brook	LEVI et al. 1963
50 ±10	do.	Granodiorit	70°41'W/30°6'S, Las Nipas, Coquimbo	DEDIOS 1967
48 ± 5	Rb/Sr	Granit	73°39'W/51°40'S, Seno Yuseff	HALPERN & CARLIN 1971
45 ± 6	do.	Tonalit	do.	HALPERN 1973
44 ± 6	Rb/Sr	Diorit	73°53'W/51°59'S, Isla Rennel	do.
34 ± 6	K/Ar	do.	do.	do.
43.5±1.4	do.	Granit	69°56'W/27°48'S, Aguada Cortodera, Atacama	zitiert in MONTECINOS 1979

Tab. 42: Fortsetzung

Alter in m.y.	Methode	Gesteinstyp	Vorkommen	Autoren
43 ±10	Pb-α	Granodiorit	68°55'W/22°16.3'S, Chuquicamata, Antofag.	zitiert in MONTECINOS 1979
42.9±0.7	K/Ar	do.	69°40'W/27°39'S, Q. Carrizalillo, Atac.	FARRAR et al. 1970
42.5	do.	do.	do.	MCNUTT et al.1975
42.1±0.7	do.	do.	do.	FARRAR et al.1970
41.3±0.9	do.	do.	70°42'W/35°54'S, El Indio-Pluton	DRAKE 1976
40 ±10	Pb-α	do.	70°13'W/33°47'S, Rio Yeso	MUNIZAGA 1972
36.9±0.6	K/Ar	do.	68°51'W/22°17'S, Chuquicamata, Antofag.	zitiert in MONTECINOS 1979
30 ±20	Pb-α	Monzogranit	70°21'W/33°S, Riecillo Brook	LEVI et al. 1963
27 ±10	do.	Granodiorit	70°38'W/35°3'S, Isla Lajas	MUNIZAGA 1972
24	K/Ar	do.	70°29'W/33°35'S, La Obra	RAVICH in AGUIRRE et al. 1974
20 ± 2	do.	Diorit	74°24'W/50°45'S, Bahia Inservable	HALPERN 1973
19 ± 3	Rb/Sr	do.	do.	do.
19.5±0.5	K/Ar	Granodiorit	Salto de Soldado-Pluton, Aconcagua	DRAKE et al.1976
18 ±10	Pb-α	do.	70°18'W/33°12'S, Pérez-Caldera	MUNIZAGA 1972
17 ±10	do.	Granit	68°2'W/22°14.7'S, El Tatio, Antofagasta	zitiert in MONTECINOS 1979
14 ±10	do.	Tonalit	70°13'W/33°30'S, Rio Colorado	RUIZ 1965
13 ± 1	K/Ar	Quarz-Diorit	73°W/51°S, Cerro Payne	HALPERN 1973
12 ± 2	Rb/Sr	do.	do.	do.
12 ± 2	do.	Quarz-Monzonit	73°10'W/51°S, Cerro Payne	HALPERN et al. 1970
7.35±0.95	K/Ar	Granodiorit	68°2'W/22°17'S, Piedras Grandes, Antofag.	zitiert in MONTECINOS 1979
7.1±0.9	do.	do.	70°44'W/35°43'48"S, Invernada-Pluton Cerro Azul	DRAKE 1976
7 ±0.5	do.	do.	do.	do.
6.3±0.1	do.	do.	do.	do.

Von den tertiären Plutoniten Chiles existieren 8 chemische Hauptelement-Analysen (Tab. 43, Nr. 1 - 8):

Nr. 1: Mela Quarz-Diorit, Mündung des Rio Pinto in den Rio Mayer (QUENSEL 1911, S. 74, Nr. I, "Essexitgabbro").

2: Monzodiorit, Cerro Cagual, Westmassiv (QUENSEL 1911, S. 80, Nr. I, "Essexit").

3: Quarz-Monzogabbro, Cerro Payne, 73°10'W/51°S (QUENSEL 1911, S. 55, Nr. I, "Bronzit-Orthoklas-Gabbro").

4: Granodiorit, Mina La Coipa, Copiapo (ZENTILLI 1974, "Monzodiorit").

5: Monzogranit, A. del Romero, Copiapo (ZENTILLI 1974, "Quarz-Diorit").

6: Leuco Quarz-Monzodiorit, Cerro Balmaceda, Ultima Esperanza (QUENSEL 1911, S. 41, Nr. I, "Nordmarkit").

7: Granodiorit, Domeyko, Atacama Provinz (MONTECINOS 1979, S. E105, Nr. A, "Granodiorit").

8: Leuco Quarz-Monzodiorit, Cerro Cagual, Ultima Esperanza (QUENSEL 1911, S. 84, Nr. I).

TAB. 43. TERTIAERE PLUTONITS - CHILE

MAJOR ELEMENTS	1	2	3	4	5	6	7	8
SIO2	45,18	49,30	52,50	63,50	65,00	66,50	67,20	67,47
AL2O3	14,69	17,31	16,02	17,50	15,85	16,24	17,30	16,25
FE2O3	1,94	3,84	1,75	3,77	2,32	1,43	2,81	2,22
FEO	8,91	5,73	6,58	1,08	2,08	3,39	-	0,82
MNO	0,16	0,14	0,15	0,19	0,07	0,10	0,08	0,03
MGO	8,98	5,12	8,70	1,32	1,25	0,08	1,29	0,46
CAO	9,36	8,67	10,18	4,95	3,78	0,86	2,42	1,36
NA2O	3,14	4,05	2,34	4,75	3,53	6,06	4,91	6,03
K2O	0,99	1,73	1,10	2,10	4,05	4,38	3,11	3,73
TIO2	2,00	2,16	0,62	0,64	0,68	0,30	0,43	0,57
P2O5	0,35	0,26	0,11	0,34	0,23	0,03	0,11	0,10
CO2	0,32	0,16	-	-	-	-	-	-
ZRO2	-	-	-	-	-	0,11	-	-
H2O	3,80	2,18	0,19	-	-	0,42	-	0,69
TOTAL	99,82	100,65	100,24	100,14	98,84	99,90	99,66	99,78
CIPW NORM								
Q	-	-	-	16,7	19,6	10,4	19,9	14,5
OR	5,9	10,2	6,5	12,4	23,9	25,9	18,4	22,0
AB	21,4	31,5	19,8	40,2	29,9	51,3	41,5	51,4
AN	23,1	23,9	30,0	20,2	15,4	4,1	11,3	6,0
NE	2,8	1,5	-	-	-	-	-	-
DI	15,5	13,1	16,0	1,6	1,4	-	-	0,0
HY	-	-	23,8	2,5	3,3	4,9	3,2	1,1
OL	19,3	7,6	0,0	-	-	-	-	-
MT	2,8	5,6	2,5	2,2	3,4	2,1	-	1,1
HM	-	-	-	2,2	-	-	2,8	1,5
IL	3,8	4,1	1,2	1,2	1,3	0,6	0,2	1,1
RU	-	-	-	-	-	-	0,3	-
AP	0,8	0,6	0,3	0,8	0,5	0,1	0,3	0,2
Z	-	-	-	-	-	0,2	-	-
C	-	-	-	-	-	0,0	1,7	-
CC	0,7	0,4	-	-	-	-	-	-
RITTMANN NORM (WET PLUTONIC FACIES)								
QUARTZ	4,1	0,9	7,8	18,0	21,7	13,0	20,3	15,5
ORTHOCLASE	1,4	8,6	4,7	9,7	25,3	19,8	17,7	19,0
PLAGIOCLASE	28,6	47,9	39,0	60,2	41,9	60,1	51,0	60,2
ORTHOPYROXENE	2,3	-	-	-	-	-	-	-
AMPHIBOLE	55,6	37,5	46,1	4,3	3,5	-	-	0,2
BIOTITE	2,8	-	-	5,5	5,6	5,8	6,7	3,5
CORDIERITE	-	-	-	-	-	-	3,5	-
TITANITE	1,9	2,7	0,6	0,3	0,3	-	-	-
MAGNETITE	1,6	1,5	1,5	1,1	1,0	1,0	0,4	0,8
ILMENITE	-	-	-	0,2	0,3	-	0,2	0,4
APATITE	0,8	0,6	0,2	0,7	0,5	0,1	0,2	0,2
ZIRCON	-	-	-	-	-	0,1	-	-
CALCITE	0,8	0,4	-	-	-	-	-	-
COLOUR INDEX	65,9	42,7	48,5	12,1	11,1	7,1	11,0	5,2
Q COORDINATES	12,1	1,5	15,1	20,4	24,4	14,0	22,8	16,4
A STRECKEISEN	4,0	15,0	9,2	11,1	28,4	21,3	19,3	20,1
P DOUBLE-	83,8	83,5	75,7	68,5	47,2	64,7	57,3	63,5
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	7,8	5,3	1,2	2,3	2,6	4,6	2,7	3,9
TAU RITTMANN	4,9	5,5	18,7	13,0	13,5	30,8	22,9	15,2

5.5. Petrochemischer Vergleich ecuadorischer Plutonite mit den übrigen Andenländern und dem Adamello-Tonale-Gebiet

Eine Bearbeitung der plutonischen Gesteine Ecuadors kann nicht erfolgen ohne einen Vergleich mit den übrigen Plutoniten der Anden, denn wie schon zu Beginn des Kapitels 5 angeführt wurde, umfassen die Plutonit-Körper ca. 15% der Anden mit nahezu 500.000 km^2 Fläche und nehmen ein Volumen von mehreren Mill. Quadratkilometern ein. Ein Grossteil davon entfällt auf den sogenannten "Anden-Batholith" im zentralen und südlichen Teil der Anden von Peru bis S-Chile. Der Vergleich soll hier aber nicht nach Ländern gezogen werden, sondern rein nach den morphogenetischen Grosstrukturen (Abb. 64), denn nur so ist eine Gegenüberstellung vernünftig. Vergleichen wir deshalb die E-Kordillere Ecuadors mit der E-Kordillere anderer andiner Länder, ebenso die W-Kordilleren und die Küstengebiete. Plutonite im Oriente gibt es nur in Kolumbien und Ecuador, wobei von den kolumbischen bisher keine Analysen vorliegen und ein Vergleich somit auch nicht gezogen werden kann.

In diese Untersuchung wurden auch die klassischen Vorkommen von Tonalit und Granodiorit des Adamello-Tonale-Gebietes in den italienischen Alpen miteinbezogen. Die 45 Gesteinsanalysen sind der Arbeit von BIANCHI et al. (1970) entnommen.

Für die Gegenüberstellungen wurden neben den beiden Tabellen mit den Durchschnittswerten für Granodiorit und Tonalit das QAPF-Doppeldreieck und das K_2O/SiO_2-Diagramm verwendet. Mit ihnen lassen sich die Unterschiede und Gemeinsamkeiten am deutlichsten aufzeigen. Spurenelement-Gehalte - wünschenswert wären vor allem die seltenen Erden - standen nicht ausreichend zur Verfügung.

Im Chemismus unterscheiden sich die Granodiorite der Tab. 44 nicht allzu sehr voneinander. Die 9 Granodiorite Ecuadors und die 23 des Adamello-Massivs sind sich in ihrer mittleren Zusammensetzung, abgesehen vom SiO_2-Gehalt mit 68.3 bzw. 65.8%, dem Al_2O_3 mit 14.9 bzw. 16.6% und dem CaO-Gehalt mit 3.6 und 4.6%, sehr ähnlich. Vor allem die Alkali-Werte sind nahezu identisch, ebenso die Farbzahlen mit 12.6 bzw. 13.7. Diesen Zusammensetzungen am nächsten kommen die peruanischen Granodiorite, wogegen die übrigen insgesamt dunkler sind, mit Farbzahlen zwischen 17.1 und 24.2.

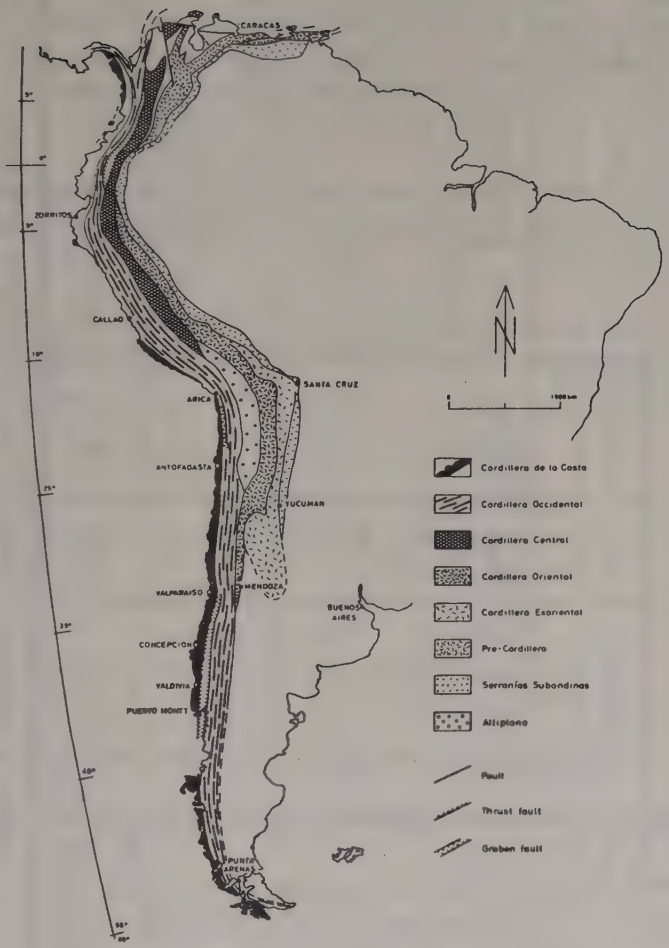


Abb. 64: Geologisch-tektonische Übersichtskarte der Anden (aus ZEIL 1979, S. 2).

Auf den ersten Blick noch ähnlicher sind sich die in Tab. 45 aufgeführten Mittelwerte der Tonalite. Die Unterschiede im SiO_2-Gehalt differieren nicht so stark wie bei den Granodioriten, der Al_2O_3-Wert der Adamello-Gesteine ist mit 17.6% allerdings deutlich höher.

Tab. 44: Durchschnitts-Analysen von 23 Granodioriten des Adamello-Tonale-Gebietes/N-Italien, 9 von Ecuador, 1 von Kolumbien, 6 von Peru, 2 von Bolivien und 13 von Chile sowie von allen Granodioriten von Kolumbien, Peru, Bolivien und Chile. Anzahl der Analysen in Klammern.

	Adamello (23)	Ecuador (9)	Kolumbien (1)	Peru (6)	Bolivien (2)	Chile (13)	Kolumbien, Peru, Bolivien, Chile (22)
SiO_2	65.8	68.3	63.6	66.5	59.3	65.0	64.8
Al_2O_3	16.6	14.9	16.2	15.8	15.9	14.8	15.2
Fe_{tot}	3.8	3.2	4.9	3.9	6.3	5.8	5.3
MgO	1.6	1.9	2.6	1.5	3.2	2.1	2.1
CaO	4.6	3.6	6.2	4.4	4.4	4.0	4.2
Na_2O	3.5	3.6	3.2	3.1	2.4	3.8	3.5
K_2O	2.4	2.4	2.0	2.9	3.9	2.5	2.7
TiO_2	0.5	0.4	0.4	0.5	1.2	0.4	0.5
P_2O_5	0.1	0.0	0.1	0.1	0.6	0.2	0.2
H_2O	1.0	0.7	0.6	0.8	2.4	0.6	0.8
Farbzahl	13.7	12.6	17.4	12.7	24.2	18.0	17.1

Tab. 45: Durchschnitts-Analysen von 22 Tonaliten des Adamello-Tonale-Gebietes/N-Italien, 18 von Ecuador, 7 von Kolumbien und 6 von Chile sowie von allen 13 Tonaliten von Kolumbien und Chile. Anzahl der Analysen in Klammern.

	Adamello (22)	Ecuador (18)	Kolumbien (7)	Chile (6)	Kolumbien und Chile (13)
SiO_2	61.6	60.2	64.7	61.3	63.1
Al_2O_3	17.6	15.0	15.8	16.6	16.2
Fe_{tot}	5.2	5.2	5.2	5.6	5.4
MgO	2.5	2.4	2.3	4.0	3.1
CaO	6.0	4.7	5.2	5.3	5.2
Na_2O	3.0	3.4	3.6	3.6	3.6
K_2O	2.0	1.4	1.4	1.6	1.5
TiO_2	0.6	0.5	0.5	0.3	0.4
P_2O_5	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
H_2O	1.2	0.9	0.9	0.7	0.8
Farb-zahl	18.1	17.1	17.4	23.0	20.0

Ansonsten sind die Unterschiede der übrigen Oxid-Werte, bis auf eine Ausnahme, nicht sehr gross. Obwohl die Summe der Alkalien in allen vier Gebieten fast gleich ist (sie schwankt nur zwischen 4.8 und 5.2%), haben wir in den Anden höhere Na_2O- und vor allem niedrigere K_2O-Gehalte. Gegenüber dem Adamello macht dieser Unterschied für die ecuadorischen und kolumbischen Tonalite durchschnittlich ein Drittel weniger aus. Im QAPF-Doppeldreieck kommt das dadurch zum Ausdruck, dass sich die Punkte der Adamello-Analysen von der QP-Linie leicht nach links verschieben mit einer Häufung im linken Teil des Tonalit- und im rechten Teil des Granodiorit-Feldes (Abb. 65). Im Falle von Ecuador fällt die Hauptmasse der Gesteine - vor allem die der W-Kordillere - in das Tonalit-Feld, wogegen die E-Kordillere eine fast identische Verteilung wie der Adamello zeigt (Abb. 66).

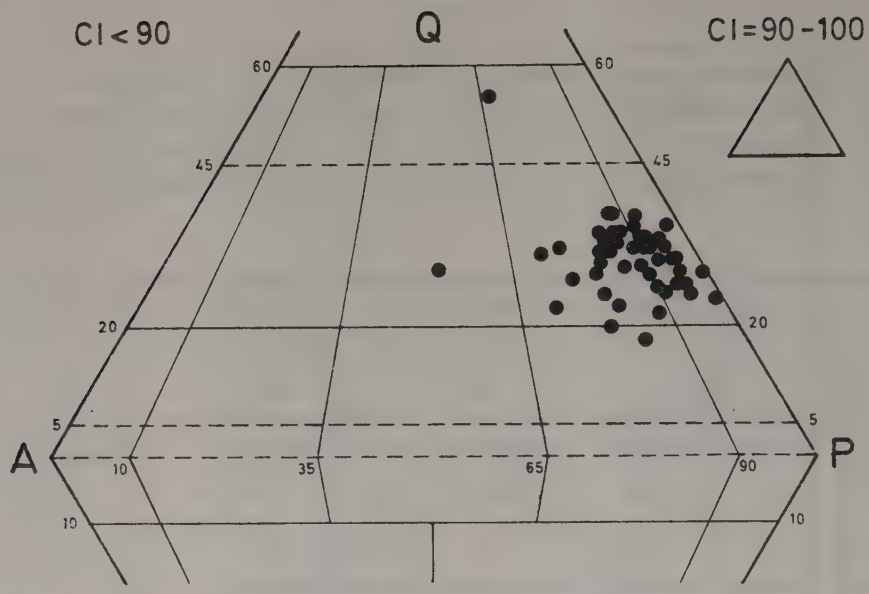


Abb. 65: Lage der Plutonite des Adamello-Tonale-Gebietes/S-Alpen im QAPF-Doppeldreieck.

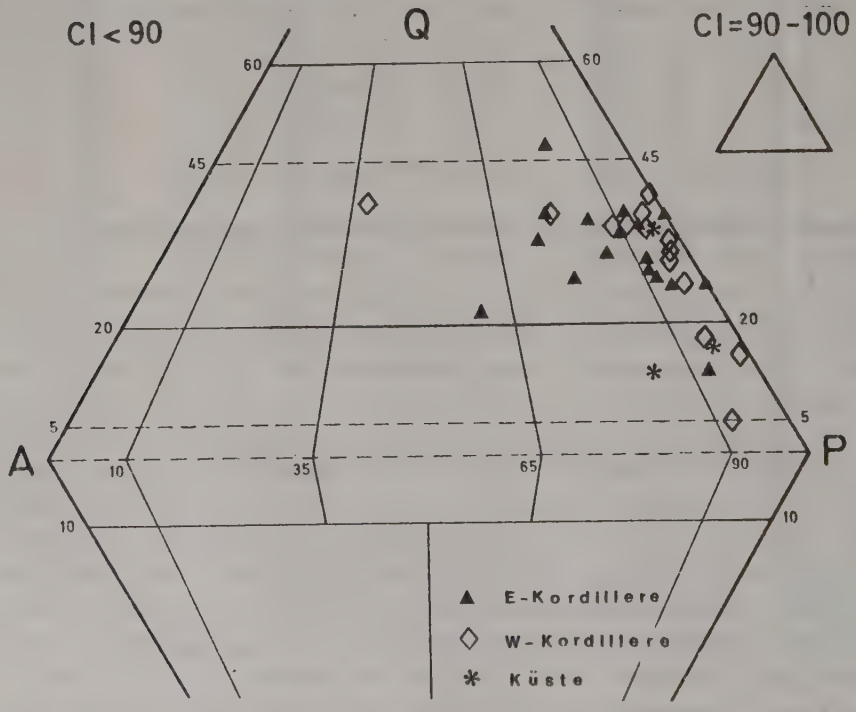


Abb. 66: Die Lage der Plutonite von Ecuador im QAPF-Doppeldreieck.

Auch im K_2O/SiO_2-Diagramm wird dieser Trend sichtbar. Die meisten Adamello-Gesteine haben K_2O-Werte zwischen 2 und 2.5% (Abb. 67), für Ecuador liegen sie meist unter 2.2%, einige sogar unter 1% (Abb. 68). Dieser Unterschied kann auch hier mit einer verschiedenartigen Herkunft begründet werden. Die Plutonite des Adamello entstammen wahrscheinlich der kontinentalen Kruste, für Ecuador wurde dagegen schon in Kap. 3.1. für die Gesteine der Küste, der W-Kordillere und eines Teils der E-Kordillere eine Inselbogen-Entstehung mit einer in späterer Zeit erfolgten Anlagerung an den südamerikanischen Kontinent postuliert.

In diesem Zusammenhang sind natürlich auch die ausser-ecuadorischen Plutonit-Vorkommen, vor allem die des riesigen Anden-Batholithen, besonders interessant, denn hier stellt sich die Frage, ob die Herkunft der Plutonite im gesamten andinen Raum die gleiche ist oder ob sich petrochemische und damit auch genetische Unterschiede ergeben. Tatsächlich können allein mit dem QAPF-Doppeldreieck und dem K_2O/SiO_2-Diagramm auffallende und überraschende Differenzen festgestellt werden.

In Ecuador besteht, wie schon in Kap. 3.1. dargelegt wurde, von Ost nach West, d.h. von der E-Kordillere über die W-Kordillere zur Küste hin ein immer stärker werdender Trend zu einer Inselbogen-Ausbildung der Gesteine. Eine deutliche Vorstellung davon vermittelt das QAPF-Doppeldreieck (Abb. 66) und das K_2O/SiO_2-Diagramm (Abb. 68). Betrachtet man die übrigen Andenländer, so zeigt sich, dass, bis auf die W-Kordillere von Kolumbien (Abb. 69 und 70), die Plutonite der zentralen und südlichen Andenstaaten Peru, Bolivien und Chile eine gänzlich andere Entwicklung aufweisen. Sowohl beim Küsten-Plutonismus (Abb. 7 1 und 72) als auch bei den W- und E-Kordilleren mit dem zentralen Graben Perus, Boliviens und Chiles (Abb. 69 und 73) verläuft diese Entwicklung nicht mehr nach dem Inselbogen-Schema, sondern folgt dem typischen kontinentalen Orogen-Trend mit einer Häufung der Punkte in den Feldern 10^*, 9^*, 5 und 3b (Quarz-Diorit, Quarz-Monzodiorit, Granodiorit und Monzogranit). Also auch hier haben wir, wie bei den Oriente-Gesteinen Ecuadors (s. Abb. 32), eine Erstreckung der Punkte quer über den oberen Teil des Doppeldreieckes mit einem flachen Anstieg von der P-Ecke zur AQ-Linie hin. Dementsprechend sind auch die K_2O-Werte

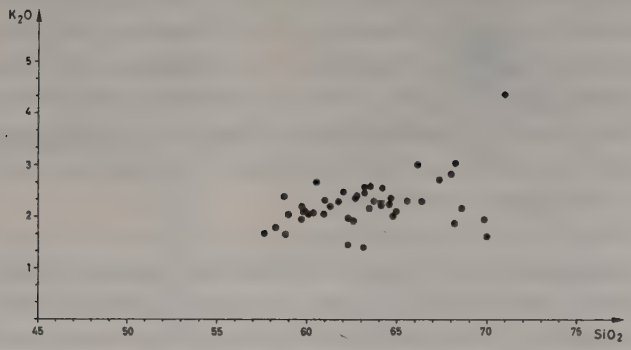


Abb. 67: K_2O/SiO_2-Diagramm der Plutonite des Adamello-Tonale-Gebietes.

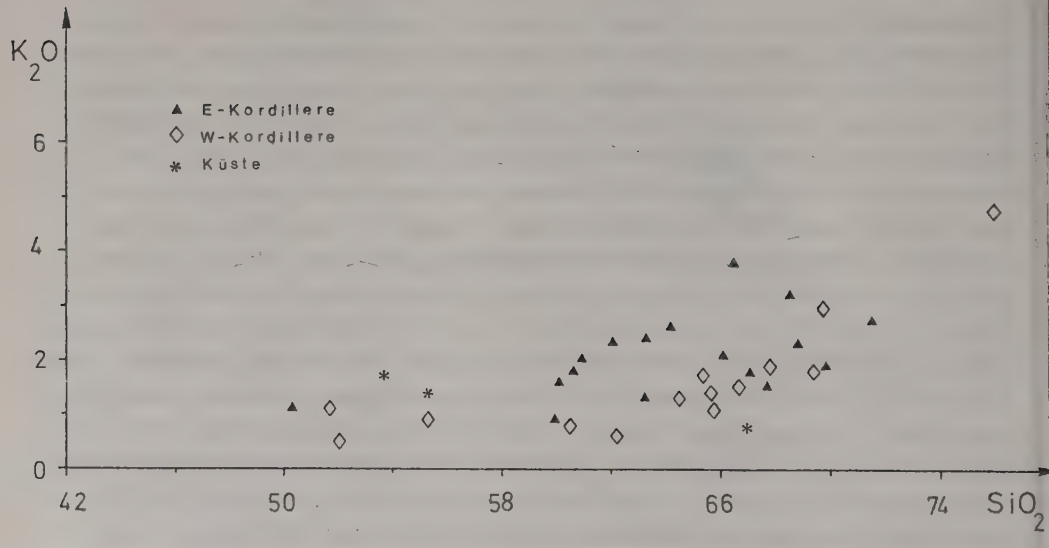


Abb. 68: K_2O/SiO_2-Diagramm der ecuadorischen Plutonite.

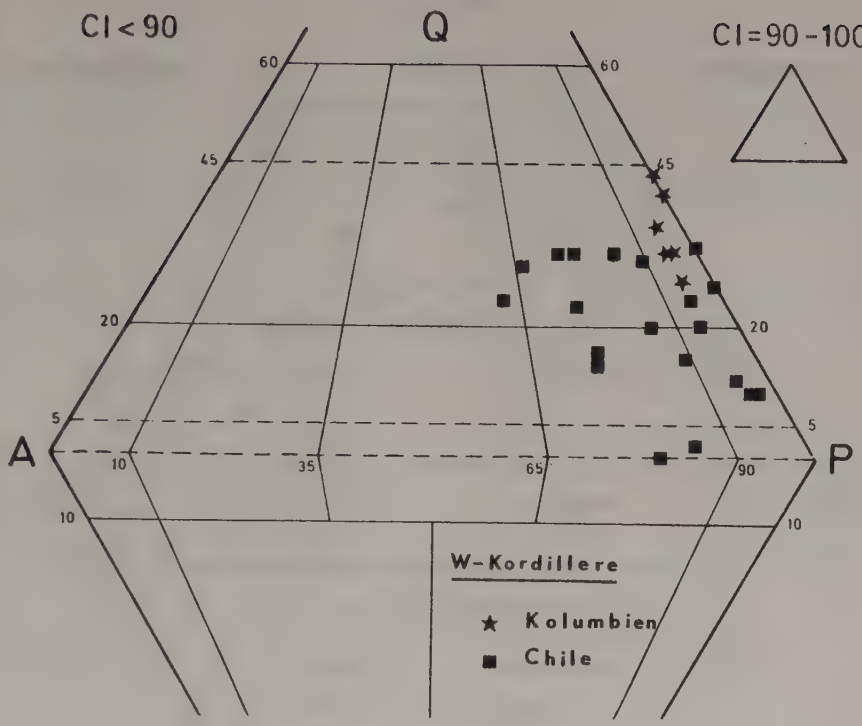


Abb. 69: Die Lage der Plutonite der W-Kordillere der Anden im QAPF-Doppeldreieck.

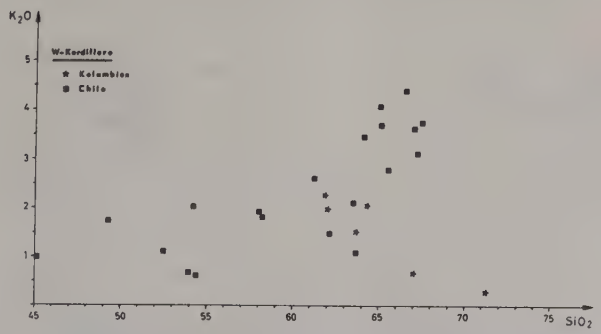


Abb. 70: K_2O/SiO_2-Diagramm der Plutonite der W-Kordillere der Anden.

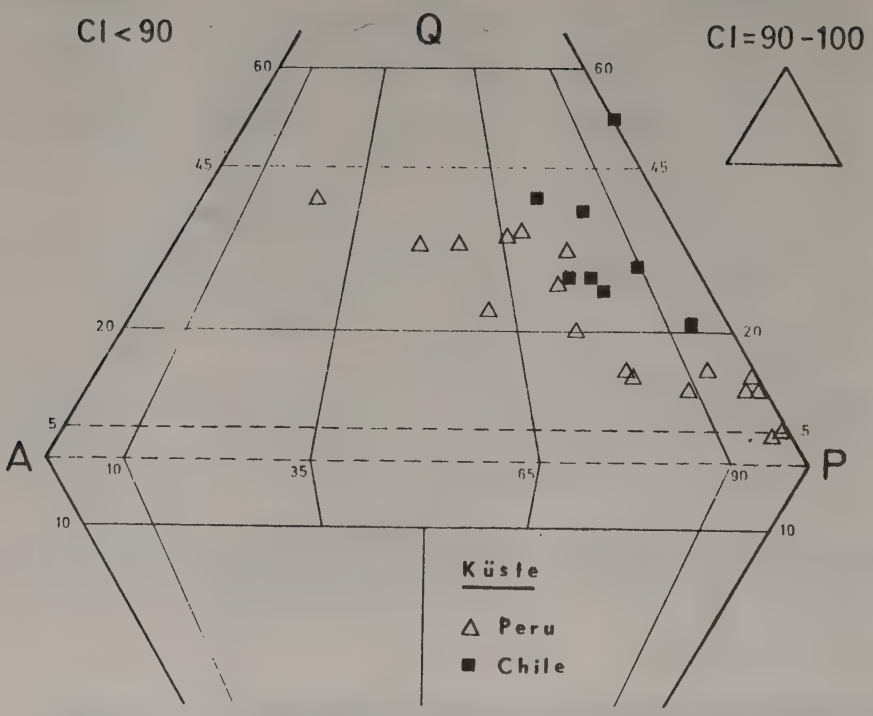


Abb. 71: Die Lage der Plutonite aus dem Küstengebiet der Anden im QAPF-Doppeldreieck.

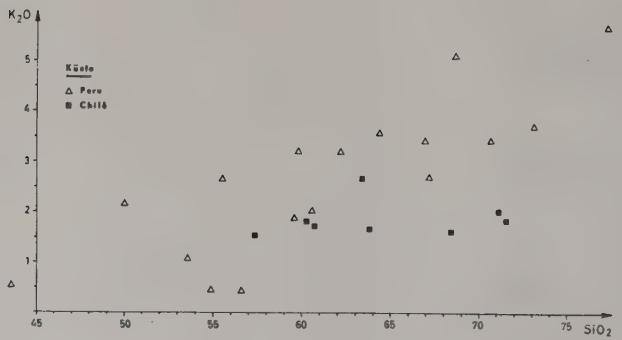


Abb. 72: K_2O/SiO_2-Diagramm der Plutonite aus dem Küstengebiet der Anden.

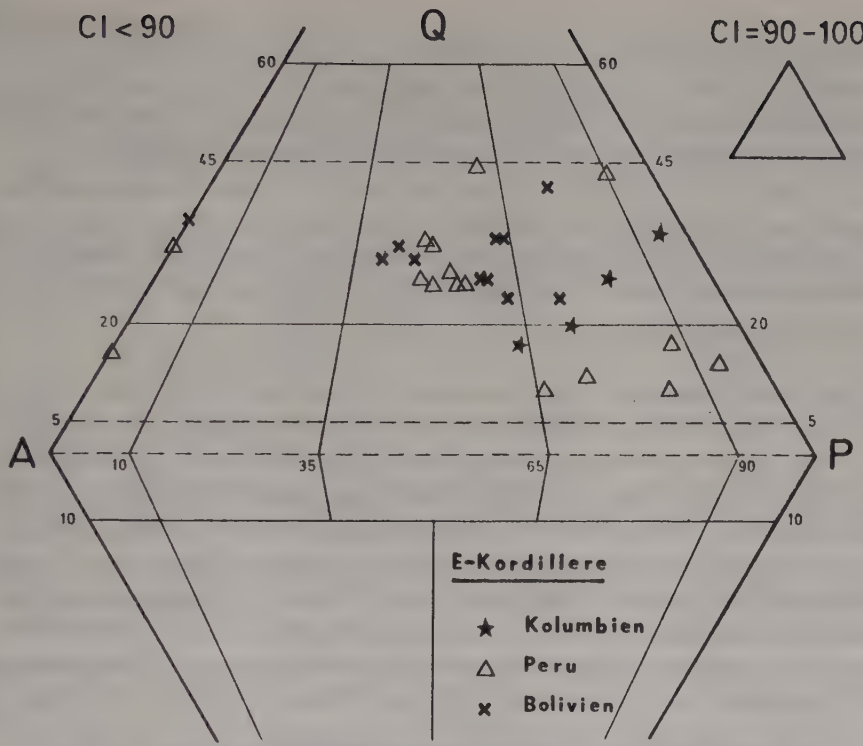


Abb. 73: Die Lage der Plutonite der E-Kordillere der Anden im QAPF-Doppeldreieck.

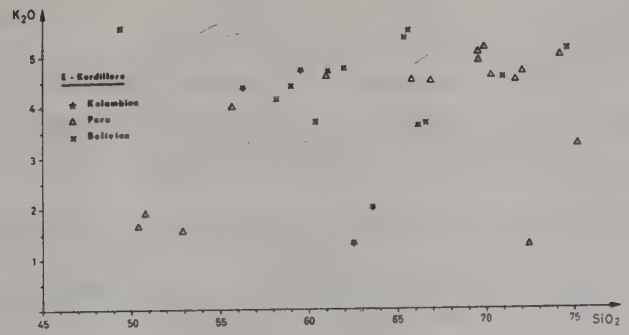


Abb. 74: K_2O/SiO_2-Diagramm der Plutonite der E-Kordillere der Anden.

gegenüber den Nordanden wesentlich höher (Abb. 68, 70, 72 und 74) und liegen z.B. für die E-Kordillere Perus und Boliviens mehrheitlich über 3.5%. Besonders interessant ist ein Vergleich der W-Kordillere von Kolumbien und Chile. Sämtliche 6 Analysen Kolumbiens liegen im Tonalit-Feld (Abb. 69) und weisen also einen ausgesprochenen Inselbogen-Charakter auf, wogegen die entsprechenden Plutonite Chiles vom Quarz-Diorit- über das Quarz-Monzodiorit- in das Granodiorit-Feld ziehen. Analog dazu verläuft der Anstieg der K_2O-Werte mit steigendem SiO_2-Gehalt sehr viel steiler (Abb. 70).

Als vorläufiges Ergebnis, das, wie schon zu Anfang dieses Kapitels erwähnt, vor allem noch durch Spurenelement-Bestimmungen abgesichert werden muss, ergibt sich damit folgendes Bild: Zwischen den Nordanden in Kolumbien und Ecuador und den zentralen und südlichen Anden in Peru, Bolivien und Chile haben wir zwei verschiedene Entwicklungen. Die im Mesozoikum ausgebildeten Inselbögen vor der N-Küste Südamerikas wurden im Tertiär an das Festland angelagert. Als südliche Grenze dafür ist etwa der nördliche Andenknick in S-Ecuador/N-Peru bzw. in der EW-Verlängerung des Amazonasbeckens anzusetzen. Südlich davon tritt dann der mit der Orogenese der Anden in Verbindung stehende kontinentale Anden-Batholith auf, der enorme Massen krustaler Schmelzen nach oben brachte.

LITERATURVERZEICHNIS

AGUIRRE, L., CHARRIER, R., DAVIDSON, J., MPODOZIS, A., RIVANO, S., THIELE, R., TIDY, E., VERGARA, M. & VICENTE, J.-C.: Anden Magmatism: Its Paleogeographic and Structural Setting in the Central Part (30° - 35°S) of the Southern Andes. - Pacific Geol., 8, 1 - 38, Tokyo 1974.

AHLFELD, F.: Die Erzlagerstätten in der tertiären Magmaprovinz der bolivianischen Zentralanden (Beiträge zur Geologie und Mineralogie Boliviens Nr. 1). - N. Jb. Mineral. Geol. Paläont. Abh., Beil.-Bd. 65, Abt. A, 285 - 354, Stuttgart 1932.

-- : Zur Tektonik des andinen Bolivien. - Geol. Rdsch., 59, 1124 - 1140, Stuttgart 1970.

AHLFELD, F. & BRANISA, L.: Geología de Bolivia. - Inst. Bol. Petrol., 245 S., La Paz 1960.

AHLFELD, F. & MOSEBACH, R.: Über Alkaligesteine in der bolivianischen Ostkordillere. - N. Jb. Mineral. Geol. Paläont. Abh., Beil.-Bd. 69, Abt. A, 388 - 414, Stuttgart 1935.

AHLFELD, F. & SCHNEIDER-SCHERBINA, A.: Los yacimientos minerales y de hidrocarburos de Bolivia. - Bol. Dept. Nac. Geol., 5 (Especial), 388 S., La Paz 1964.

ALBUQUERQUE, C. DE: Geochemistry of biotites from granitic rocks, Northern Portugal. - Geochim. Cosmochim. Acta, 37, 1779 - 1802, 1973.

-- : Geochemistry of actinolitic hornblendes from tonalitic rocks, Northern Portugal. - Geochim. Cosmochim. Acta, 38, 789 - 803, 1974.

ALVAREZ, J. & LINARES, E.: Edad K/Ar del Stock Granitoide de la Quebrada Las Minas, Municipio de la Vega, Cauca. - Publ. Esp. Geol., No. 21, Fac. Cienc. Univ., Medellin 1979a.

-- : Edades K/Ar del Batolito de Piedrancha y el Stock de Arboledas, Departamento de Nariño. - Publ. Esp. Geol., No. 22, Fac. Cienc. Univ., Medellin 1979b.

ALVAREZ, J., ORREGO, A., BOTERO, G. & LINARES, E.: Determinación de Edad K/Ar del Stock de Suárez-Cauca. - Publ. Esp. Geol., No. 11, Fac. Cienc. Univ., Medellin 1978.

ARANGO, J., KASSEM, T. & DUQUE, H.: Mapa Geólogico de Colombia, esc. 1:1.500.000. - Ingeominas, Bogotá 1976.

AUDEBAUD, E., LAUBACHER, G. & MAROCCO, R.: Coupe géologique des Andes du Sud Pérou de l'Océan Pacifique au Bouclier Brésilien. - Geol. Rdsch., 65, 223 - 264, Stuttgart 1976.

BARRERO, D. & VESGA, C.: Mapa geológico del Cuadrángulo K-9 Armero y parte sur del J-9 La Dorada, esc. 1:100.000. - Ingeominas, Bogotá 1976.

BARTH, W.: Die geowissenschaftliche Literatur Boliviens in den Jahren 1960 - 1971: Ein Überblick. - Zbl. Geol. Paläont. Teil 1, 100 - 130, Stuttgart 1972.

BEARTH, P.: Gesteine der Peruanischen Anden. - Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., 18, 512 - 590, Zürich 1938.

BELLIDO, E., NARVAEZ, S. & SIMONS, F.: Mapa Geológico del Peru, esc. 1:2.000.000. - Soc. Geol. Peru, Lima 1956.

BIANCHI, A., CALLEGARI, E. & JOBSTRAIBIZER, P. G.: I tipi petrografici fondamentali del plutone dell'Adamello. - Mem. Inst. Geol. Mineral. Univ. Padova, 27, 146 S., Padova 1970.

BOTERO ARANGO, G.: Contribución al conocimiento de la Geología de la Zona Central de Antioquia. - Anal. Fac. Mineral. No. 57, 101 S., Medellin 1963.

-- : Edades Radiométricas de algunos plutones Colombianos. - Mineria, 27, No. 169 - 170, 8336 - 8342, Medellin 1975.

BRAUN, A.: Pyroklastika im Interandinen Längstal von Ecuador - Ein Beitrag zur Systematik der Pyroklastika. - Diss. Univ. Tübingen, 135 S., 1977.

BURRI, C., PARKER, R. & WENK, W.: Die optische Orientierung der Plagioklase, Unterlagen und Diagramm zur Plagioklasbestimmung nach der Drehtischmethode. - Birkhäuser, Basel 1966.

CAMPBELL, C. J.: Ecuadorian Andes. - In: Mesozoic-Cainozoic Orogenic Belts, 725 - 732, Edinburgh 1974.

CAPDAVILA, R., MEGARD, F., PAREDES, J. & VIDAL, P.: Le Batholite de San Ramon, Cordillere Orientale du Pérou Central. - Geol. Rdsch., 66, 434 - 445, Stuttgart 1977.

CEDIEL, F., UJUETA, G. & CÁCERES, C.: Mem. Mapa Geológico de Colombia, esc. 1:1.000.000. - Geotect. 1 - 22, Bogotá 1976.

COBBING, E. & PITCHER, W.: The coastal batholith of Central Peru. - J. geol. Soc. London, 128, 421 - 460, 1972.

CORDANI, U.: Unpublished letter in library of Servicio Geológico de Bolivia. - La Paz 1967.

CORDANI, U., MUNIZAGA, F., HERVE, F. & HERVE, M.: Edades radiometricas provenientes del basmento cristalino de la Cordillera de la Costa de las provincias de Valparaiso y Santiago, Chile. - Bol. I. Congr. Geol. Chile, 213 - 221, Santiago 1976.

CORVALÁN, J. & MUNIZAGA, F.: Edades radiometricas de rocas intrusivas y metamorficas de la Hoja Valparaiso, San Antonio. - Inst. Invest. Geol. Bol., 28, 40 S., Santiago 1972.

COTECCHIA, F. & ZEZZA, F.: The Eocene basement of the Interandean Corridor in the Latacunga-Ambato Trough (Ecuador). - Geol. appl. idrogeol., 4, 43 - 46, Roma 1969.

DEDIOS, P.: Cuadrángulo Vicuña, Provincia de Coquimbo. - Inst. Invest. Geol. Carta 16, 1 - 65, Santiago 1967.

DEER, W.: The composition and paragenesis of the biotites of the Carsphairn igneous complex. - Mineral. Mag., 24, 495 - 502, 1937.

DEER, W., HOWIE, R. & ZUSSMAN, J.: An introduction to the rock-forming minerals. - 528 S., Longman, London 1974.

DODGE, F.: Chlorites from granitic rocks of the Central Sierra Nevada batholith, California. - Mineral. Mag., 39, 58 - 64, 1973.

DRAKE, R.: Chronology of Cenozoic igneous and tectonic events in central Chilean Andes - latitudes 35°30' to 36°S. - J. Volcanol. Geotherm. Res., 1, 265 - 284, 1976.

DRAKE, R., CURTIS, G. & VERGARA, M.: Potassium-argon dating of igneous activity in the central Chilean Andes - latitude 33°S. - J. Volcanol. Geotherm. Res., 1, 285 - 295, 1976.

DUNIN-BORKOWSKI, E.: Der Acari-Pluton (Peru) als Beispiel der Differentiation des tonalitischen Magmas. - Geol. Rdsch., 59, 1141 - 1180, Stuttgart 1970.

EGELER, C. & DE BOOY, T.: Geology and Petrology of Part of the southern Cordillera Blanca, Peru. - Verh. geol.-mijnbouwkd. Genoot. Nederl., Geol. Ser., 17, 1 - 86, 1956.

ERNST, W.: AMPHIBOLES. - 125 S., Springer Verl.,Heidelberg 1968.

EVERNDEN, J.: Edades absolutas de algunas rocas igneas de Bolivia por el méthodo Potásio-Argón. - Noticiero Soc. Geol. Bolivia, No. 2, 3 - 4, La Paz 1961.

EWART, A. & TAYLOR, S.: Trace element geochemistry of the rhyolitic volcanic rocks, Central North Island, New Zealand. - Contr. Mineral. Petrol., 22, 127 - 145, 1969.

FARRAR, E., CLARK, A., HAYNES, S., QUIRT, G., CONN, H. & ZENTILLI, M.: K-Ar Evidence for the Post-Paleozoic Migration of Granitic Intrusion Foci in the Andes of Northern Chile. - Earth Planet. Sci. Lett., 10, 60 - 66, 1970.

FEININGER, T., BARRERO, D. & CASTRO, N.: Geologia de Parte de los Departamentos de Antioquia y Caldas (Sub zona II B). - Bol. geol. Colombia, 20, 173 S., Bogotá 1972.

FEININGER, R., BARRERO, D., CASTRO, N. & HALL, R.: Geology and mineral deposits of an area in the Departments of Antioquia and Caldas (Subzone II B), Colombia. - U. S. geol. Surv. open-file Rep., 223 S., 1973.

FOSTER, M.: Interpretation of the composition and a classification of the chlorites. - U. S. geol. Surv. prof. Pap., 414-A, 33 S., 1962.

FRANGIPANE-CYSEL, M.: Studio geochimico-petrografico del Nevado Coropuna (Perú meridionale). - Diss., ETH Zürich 1976.

FRICKER, R. & WEIBEL, M.: Zur Kenntnis der Eruptivgesteine in der Cordillera Vilcabamba (Peru). - Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 40, 359 - 382, Zürich 1960.

GANSSER, A.: Facts and theories on the Andes. - J. geol. Soc. London, 129, 93 - 131, 1973.

GILETTI, B. & DAY, H.: Potassium-argon ages of igneous intrusive rocks of Perú. - Nature, 220, 570 - 572, 1968.

GÖBEL, V. & STIBANE, F.: K/Ar Hornblende Ages of Tonalite Plutons Cordillera Occidental, Colombia, S. A. - Publ. Esp., Geol., No. 19, Fac. Cienc. Univ., Medellin 1979.

GOLDSMITH, R., MARVIN, R. & MEHNERT, H.: Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera Colombian Andes. - U. S. geol. Surv. prof. Pap., 750-D, D44 - D49, 1971.

GONZALEZ, H.: Geología del Cuadrangulo J-8, Sonsón. - Informe 1704, Ingeominas, 42 S., Bogotá 1976.

GONZALEZ-BONORINO, F. & AGUIRRE, L.: Metamorphic facies of the crystalline basement of Chile. - Geol. Rdsch., 59, 979 - 994, Stuttgart 1970.

GONZALEZ, H., RESTREPO, J. TOUSSAINT, J. & LINARES, E.: Edad radiométrica K/Ar del Batolito de Sabanalarga. - Publ. Esp., Geol., No. 8, Fac. Cienc. Univ., 4 S., Medellin 1978.

GOOSSENS, P.: The geology of Ecuador. Explanatory note for the geological map of the Republic of Ecuador (1:500.000). - Ann. Soc. Géol. Belg., 93, 255 - 263, Bruxelles 1970.

GOOSSENS, P. & ROSE, W.: Chemical composition and age determination of tholeiitic rocks in the Basic Igneous Complex, Ecuador. - Geol. Soc. Amer. Bull., 84, 1043 - 1052, 1973.

GOOSSENS, P., ROSE, W. & FLORES, D.: Geochemistry of tholeiites of the Basic Igneous Complex of northwestern South America. - Geol. Soc. Amer. Bull., 88, 1711 - 1720, 1977.

GRANT, J., HALLS, C., AVILA, W. & SNELLING, J.: Edades potasio-argon de las rocas igneas y la mineralización de part de la Cordillera Oriental, Bolivia. - Bol. Serv. Boliv., Ser. A, 1, 33 - 60, La Paz 1977.

HALL, A.: Relation between chemical composition and R.I. in the biotites. - Amer. Mineralogist, 26, 34 - 41, 1941.

-- : The variation of some trace elements in the Rosses granite complex, Donegal. - Geol. Mag., 104, 99 - 109, 1967.

HALPERN, M.: Potassium-argon dating of plutonic bodies in Palmer Peninsula and Southern Chile. - Science, 138, 1261 - 1262, 1962.

-- : Regional geochronology of Chile South of 50° Latitude. - Geol. Soc. Amer. Bull., 84, 2407 - 2422, 1973.

-- : Geological significance of Rb-Sr isotopic data of northern Chile crystalline rocks of the Andean orogen between latitudes 23° and 27° South. - Geol. Soc. Amer. Bull., 89, 522 - 532, 1978.

HALPERN, M. & CARLIN, C.: Radiometric chronology of crystalline rocks from southern Chile. - U. S. Antarctic J., 6, 191 - 193, 1971.

HALPERN, M., UMPIERRE, M. & LINARES, E.: Radiometric ages of crystalline rocks from southern south America as related to Gondwana and Andean Geologic Provinces. - Upper Mantle Symp., 2, 345 - 356, Buenos Aires 1970.

HAUSEN, H.: Zur Kenntnis der Magmengesteine der chilenischen Atacama-Wüste. - N. Jb. Mineral. Geol. Paläont., Beil.-Bd. 73, Abt. A, 151 - 238, Stuttgart 1938.

HEIZ, R.: Phase relations of basalts in their melting range at P_{H_2O} = 5kb as function of oxygen fugacity. - J. Petrol., 14, 249 - 302, 1973.

HENDERSON, W.: Cretaceous to Eocene volcanic are activity in the Andes of northern Ecuador. - J. geol. Soc. London, 136, 367 - 378, 1979.

HERBERT, H.J.: Die Grünschiefer der Ost-Kordillere Ecuadors und ihr metamorpher Rahmen. - Diss. Univ. Tübingen, 183 S., 1977.

HERZ, R.: Die Gesteine der ecuatorianischen West-Cordillere vom Pululagua bis Guagua-Pichincha. - Diss. Univ. Berlin, 72 S., Berlin 1892.

HEY, M.: A review of the chlorites. - Mineral. Mag., 30, 277 - 292, 1954.

HIETANEN, A.: Distribution of elements in biotite-hornblende pairs and in an orthopyroxene-clinopyroxene pair from zoned plutons, Northern Sierra Nevada, California. - Contr. Mineral. Petrol., 30, 161 - 176, 1971.

HOLLOWAY, J. & BURNHAM, C.: Melting relations of basalt with equilibrium water pressure less than total pressure. - J. Petrol., 13, 1 - 29, 1972.

IRVING, E.: Structural evolution of the northernmost Andes, Colombia. - U. S. geol. Surv. prof. Pap., No. 846, 47 S., 1975.

KABESH, M. & RAGAB, A.: The chemistry of biotites as a guide to the evolution trends of El Atawi granitic rocks, Eastern Desert, Egypt. - N. Jb. Mineral. Mh., 307 - 316, 1974.

KABESH, M., ALY, M. & REFAAT, A.: On the chemistry of Biotites and Variation of ferrous ferric Ratios in the granitic rocks of Umm Naggat Stock, Egypt. - N. Jb. Mineral. Abh., 124, 47 - 60, Stuttgart 1975.

KEHRER, W. & VAN DER KAADEN, G.: Notes on the Geology of Ecuador with Special Reference to the Western Cordillera. - Geol. Jb., B-35, 5 - 57, Hannover 1979.

KENNERLEY, J.: Geology of Loja Province, Southern Ecuador. - Inst. Geol. Sci., Overseas Div., Rep. No. 23, 34 S., London 1973.

KLAUTSCH, A.: Die Gesteine der ecuatorianischen West-Cordillere vom Rio Hatuncama bis zur Cordillera de Llangagua. - Diss. Univ. Berlin, 45 S., Berlin 1893.

KLERKX, J., DEUTSCH, S., PICHLER, H. & ZEIL, W.: Strontium isotopic composition and trace element data bearing on the origin of Cenocoic volcanic rocks of the central and southern Andes. - J. Volcanol. Geotherm. Res., 2, 49 - 71, 1977.

KRETZ, R.: Distribution of magnesium and iron between orthopyroxene and calcic pyroxene in natural mineral assemblages. - J. Geol., 71, 773 - 785, 1963.

KUNO, H.: Origin of Cenozoic petrographic provinces of Japan and surrounding areas. - Bull. volcanol., 20, 37 - 76, Napoli 1959.

LANCELOT, J., LAUBACHER, R., MAROCCO, R. & RENAUD, U.: U/Pb radiochronology of two granitic plutons from Eastern Cordillera (Peru). Extent of Permian magmatic activity and consequences. - Geol. Rdsch., 67, 236 - 243, Stuttgart 1978.

LAUGHLIN, A., DAMON, P. & WASTON, B.: Potassium-Argon dates from Toquepala and Michiquillay, Peru. - Econ. Geol., 63, 166 - 168, 1968.

LEAKE, B.: The relationship between tetrahedral aluminium and the maximum possible octahedral aluminium in natural calciferous amphiboles. - Amer. Mineralogist, 50, 843 - 851, 1965.

-- : A catalogue of analyzed calciferous and subcalciferous amphiboles together with their nomenclature and associated minerals. - Geol. Soc. Amer., Spec. Pap. 98, 210 S., 1968.

LEHMANN, B .: Schichtgebundene Sn-Lagerstätten in der Cordillera Real/ Bolivien. - Berliner geowiss. Abh., Abt. A, 14, 135 S., Berlin 1979.

LEHMANN, E.: Beiträge zur Petrographie des Gebietes am oberen Rio Magdalena. - Tscherm. Mineral. Petrogr. Mitt., 30, 233 - 280, Wien 1911.

-- : Beiträge zur Petrographie des Gebietes am oberen Rio Magdalena. II und III. - N. Jb. Mineral. Abh., 81, 1 - 22, Stuttgart 1950.

LEVI, B., MEHECH, S. & MUNIZAGA, F.: Edades radiometricas y petrografica de granitos chilenos. - Bol. Inst. Invest. Geol., 12, 42 S., Santiago 1963.

LINDGREN, W.: Replacement in the tin bearing veins of Caracoles, Bolivia - Econ. Geol., 21, 135 - 144, 1926.

LOCKWOOD, J.: Geology of the Serranía de Jarara area, Guajira Peninsula, Colombia. - Ph. D. Diss. Princeton Univ., 237 S., 1965.

[Mapa Geologico de Chile, esc. 1:1.000.000] : Inst. Invest. Geol., Santiago 1968.

[Mapa Geológico de la Republica del Ecuador, esc. 1:1.000.000]: Serv. Nac. Geol. Mineria, Quito 1969.

[Mapa Geologico del Ecuador, esc. 1:100.000]: Blatt 3 Jipijapa (1974); Blatt 23 Zapotillo (1974); Blatt 39 Cariamanga (1973); Blatt 40 Macará (1974); Blatt 54 Girón (1974); Blatt 55 Saraguro (1973); Blatt 56 Loja (1975); Blatt 57 Gonzanamá (1975); Blatt 71 Alausi (1975); Blatt 72 Cañar 1975).

MCBRIDE, S.: A K-Ar study of the Cordillera Real, Bolivia, and its regional setting. - Ph. D. Thesis (unpubl.), Queen's Univ., 231 S., Kingston 1977.

MCBRIDE, S., CAELLES, J., CLARK, A. & FARRAR, E.: Palaeozoic radiometric age provinces in the Andean basement latitudes 25 - 30°S. - Earth Planet. Sci. Lett., 29, 373 - 383, 1976.

MCNUTT, R., CROCKET, J., CLARK, A., CAELLES, J., FARRAR, E., HAYNES, S. & ZENTILLI, M.: Initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios of plutonic and volcanic rocks of the Central Andes between Latitudes 26° and 29° South. - Earth Planet. Sci. Lett., 27, 305 - 313, 1975.

MEHNERT, K.: Migmatites and the origin of granitic rocks. - 393 S., Elsevier, Amsterdam 1968.

MICHEL-LÉVY, A.: Etude sur la détermination des feldspaths dans les plaques minces. - Baudry et Cie, Paris 1894.

MONTECINOS, P.: Plutonismo durante el ciclo Tectonico Andino en el Norte de Chile, entre los 18° - 29° lat. Sur. - Bol. II Congr. Geol. Chile, Arica 1979.

MUNIZAGA, F.: Edades radiométricas de rocas chilenas. - Inst. Invest. Geol., J. Trabajo, 2, Santiago 1972.

MUÑOZ-CRISTI, J.: Geologia del districto minero de La Higuera, Provincia de Coquimbo. - Publ. Geol. Inst. Univ. Chile, No. 1, 107 S., Santiago 1950.

-- : Reconocimiento geologico en la parte NW, de la provincia de Atacama. - Publ. Geol. Inst. Univ. Chile, No. 11, 30 S., Santiago 1958.

-- : Estudios petrográficos y petrológicos sobre el Batolito de la Costa de las Provincias de Santiago Y Valparaiso. - Publ. Geol. Inst. Univ. Chile, No. 25, Santiago 1964.

OSBORN, E.: Role of Oxygen pressure in the crystallisation and differentiation of basaltic magma. - Amer. J. Sci., 257, 609 - 647, 1959.

PALACIOS, C.: La zona de contacto del Intrusivo granitico de Tocopilla con la formación volcánica la Negra y su influencia en la mineralizacion del área. - Dipl.-Arb., Dpto. Geol., Univ. Chile, 1973.

PECORA, W. & FISHER, B.: Drusy vugs in a monzonite dike, Bearpaw Mountains, Montana. - Amer. Mineralogist, 31, 370 - 385, 1946.

PÉREZ, G.: Determinación de la edad absoluta de algunas rocas de Antioquia por métodos radioactivos. - Dyna, Fac. Minas, 84, 27 - 31, Medellin 1967.

PICHLER, H. & STENGELIN, R.: Lighter Differentiates of Tholeiite Basaltic and Alkali Basaltic Magmas. - N. Jb. Mineral. Abh., 135, 18 - 35, Stuttgart 1979.

PICHLER, H. & ZEIL, W.: Paleozoic and Mesozoic Ignimbrites of Northern Chile. - N. Jb. Mineral. Abh., 116, 196 - 207, Stuttgart 1972.

PICHLER, H., STIBANE, F. & WEYL, R.: Basischer Magmatismus und Krustenbau im südlichen Mittelamerika, Kolumbien und Ecuador. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 102 - 126, Stuttgart 1974.

PINSON, W., HURLEY, P., MENCHER, E. & FAIRBAIRN, H.: K-Ar and Rb-Sr ages of biotites from Colombia, South America. - Geol. Soc. Amer. Bull., 73, 907 - 910, 1962.

PUTZER, H.: Metallogenetische Provinzen in Südamerika. - 316 S., Schweizerbart, Stuttgart 1976.

QUENSEL, P.: Geologisch-Petrographische Studien in der patagonischen Cordillera. - Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala, 11, 1 - 113, Uppsala 1911.

REFAAT, A. & ABDALLAH, Z.: Geochemical study of Coexisting Biotite and Chlorite from Zakar Granitic Rocks of Zanjan Area, Northwest, Iran. - N. Jb. Mineral. Abh., 136, 262 - 275, Stuttgart 1979.

REISS, W.: Ecuador 1870 - 74. Petrographische Untersuchungen. - Berlin 1904.

REISS , W. & STÜBEL, A.: Das Hochgebirge der Republik Ecuador. Petrographische Untersuchungen I. Westkordillere. - Berlin 1892 - 1898.

-- : Das Hochgebirge der Republik Ecuador. Petrographische Untersuchungen II. Ostkordillere. - Berlin 1896 - 1902.

RESTREPO, J. & TOUSSAINT, J.: Edades radiométricas de algunas rocas de Antioquia-Colombia. - Publ. Esp. Geol., No. 6, Fac. Minas, 24 S., Medellin 1975.

RITTMANN, A.: Die Zonenmethode. Ein Beitrag zur Methodik der Plagioklasbestimmung mit Hilfe des Theodolithtisches. - Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 9, 1 - 46, Zürich 1929.

RITTMANN, A. [mit Beiträgen von GOTTINI, V., HEWERS, W., PICHLER, H. & STENGELIN, R.]: Stable mineral assemblages of igneous rocks. - 262 S., Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1973.

RIVAS, S. & CARRASCO, R.: Geologia y yacimientos minerales de la region de Potosi; Tomo I, Parte geológica. - Bol. Serv. Geol. Boliv., 11, 95 S., La Paz 1968.

ROBERTSON, R.: Notes sobre el método del K/Ar de datación de rocas e interpretación de edades obtenidas hasta ahora. - Serv. Geol. Boliv., Inf. prelim., 2, 1 - 11, La Paz 1974.

ROCHA CAMPOS, A. & AMARAL, G.: K-Ar ages of igneous rocks of the Mitu Group, Huancayo region, Central Peru. - Bol. Geocienc., 28/29, 3 - 7, 1971.

RÜEGG, W.: Geologie zwischen Cañete-San Juan 13°00' - 15°24' Südperu. - Geol. Rdsch., 45, 775 - 856, Stuttgart 1957.

RUIZ, C.: Geología y yacimientos metaliferos de Chile. - Inst. Invest. Geol., 19 - 33, Santiago 1965.

RUIZ, C., AGUIRRE, L., CORVALAN, J., ROSE, Jr. H., SEGERSTROM, K. & STERN, T.: Ages of Batholithic Intrusions of Northern and Central Chile. - Geol. Soc. Amer. Bull., 72, 1551 - 1560, 1961.

SAUER, W.: Geología del Ecuador. - 383 S., Quito 1965.

-- : Geologie von Ecuador. - 316 S., Borntraeger, Berlin-Stuttgart 1971.

SMITH, J.: The optical properties of heated plagioclases. - Amer. Mineralogist, 43, 1179 - 1194, 1958.

STEINMANN , G.: Geologie von Peru. - 448 S., Heidelberg 1929.

STEWART, J., EVERNDEN, J. & SNELLING, N.: Age determinations from Andean Peru: A reconnaissance survey. - Geol. Soc. Amer. Bull., 85, 1107 - 1116, 1974.

STOLL, W.: Metallogenic provinces of South America. - Mining Mag., 112, 1, 22 - 33, 2, 90 - 99, London 1965.

STRECKEISEN, A.: Classification and nomenclature of igneous rocks. - N. Jb. Mineral. Abh., 107, 144 - 214, Stuttgart 1967.

-- : To each plutonic rock its proper name. - Earth Sci. Rev., 12, 1 - 23, Amsterdam 1976.

STÜBEL, A.: Die Vulkanberge von Ecuador. - 556 S., Asher, Berlin 1897.

THORMANN, W.: Investigaciones preliminares sobre la geotectonica y metalogenesis de la Zona Challapata-Caxata (Bolivia). - Bol. Serv. Geol. Boliv., 7, 118 S., La Paz 1966.

TOUSSAINT, J. & RESTREPO, J.: Modelos orogénicos de tectónica de placas en los Andes Colombianos. - Bol. Cienc. Tierra, No. 1, 1 - 47, Medellin 1976.

TOUSSAINT, J., BOTERO, G. & RESTREPO, J.: Datacion K/Ar del Batolito de Buga. - Publ. Esp., Geol., No. 13, Fac. Cienc., Medellin 1978.

TRÖGER, W.: Optische Bestimmung der Minerale. - 2, 822 S., Stuttgart 1969.

TSCHANZ, C., JIMENO, V. & CRUZ, B.: Mapa geológico de reconocimiento de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. - Inst. Nac. Invest. Geol. Mineral., Bogotá 1969.

TSCHANZ, C., MARVIN, R., CRUZ, J., MEHNERT, H. & CEBULA, G.: Geologic Evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia. - Geol. Soc. Amer. Bull., 58, 273 - 284, 1974.

TSCHOPP, H.: Geologische Skizze von Ecuador. - Bull. Ver. schweiz. Petrol. Geol.-Ing., 15, 14 - 45, Basel 1948.

-- : Upper Amazone-Basin geological province. - In: JENKS, W.: Handbook of Southamerican Geology. - Geol. Soc. Amer., 1956.

[UNO DEVELOPMENT PROGRAMME]: The Peruvin and El Rosario silver prospekts Republic of Ecuador. - Tech. Rep. No. 15, 34 S., New York 1972.

VERHOOGEN, J.: Distribution of titanium between silicates and oxides in igneous rocks. - Amer. J. Sci., 260, 211 - 220, 1962.

VIELMETTER, R.: Untersuchung von Eruptivgesteinen und ihrer Kontaktgesteine aus der Kordillere von Bolivien und Peru. - N. Jb. Mineral. Geol. Paläont., Beil.-Bd. 56, Abt. A, 23 - 68, Stuttgart 1928.

[WEDEPOHL, K., Hrsg.]: Handbook of Geochemistry, Bd. II-4 und II-5,1978.

WEIBEL, M., FRANGIPANE-GYSEL, M. & HUNZIKER, J.: Ein Beitrag zur Vulkanologie Süd-Perus. - Geol. Rdsch., 67, 243 - 252, Stuttgart 1978.

WILLIAMS, T., TURNER, F. & GILBERT, C.: Petrography. - W. H. Freemann, San Francisco 1953.

WOLF, M.: Zum Magmatismus der Cordillera de Potosi in Bolivien. - Freiberger Forschh., C 275, 174 S., Leipzig 1973.

WOLF, T.: Geognostische Mitteilungen aus Ecuador. - N. Jb. Mineral.etc., 152 - 170, 449 - 472 und 561 - 584, Stuttgart 1875.

-- : Geognostische Mitteilungen aus Ecuador. 5. Der Cotopaxi und seine letzte Eruption am 26. Juni 1877. - N. Jb. Mineral. etc., 113 - 167, Stuttgart 1878.

-- : Geografia y Geologia del Ecuador. - 671 S., Brockhaus, Leipzig 1892.

WOLFF, F. von : Die älteren Gesteine der ecuatorianischen Ost-Cordillere sowie die des Azuay und eines Teils der Cuenca-Mulde. - In: REISS,W.: Ecuador 1870 - 1874. - 189 - 304, Gebr. Ernst, Berlin 1904.

WONES, D. & EUGSTER; H.: Stability of biotite: experiment, theory and application. - Amer. Mineralogist, 50, 1228 - 1272, 1965.

ZEIL, W.: Die Plutonite der Anden - Eine Übersicht. Abstr. 6. Geowiss. Lateinamerika-Kolloq. in Stuttgart 1978.

-- : The Andes. A geological review. - Berlin-Stuttgart 1979.

ZENTILLI, M.: Geological evolution and Metallogenetic relationships in the Andes of Northern Chile between 26° and 29° South. - Ph. D. Thesis, 394 S., Queen's Univ., Kingston 1974.

Legende zu Taf. 1:

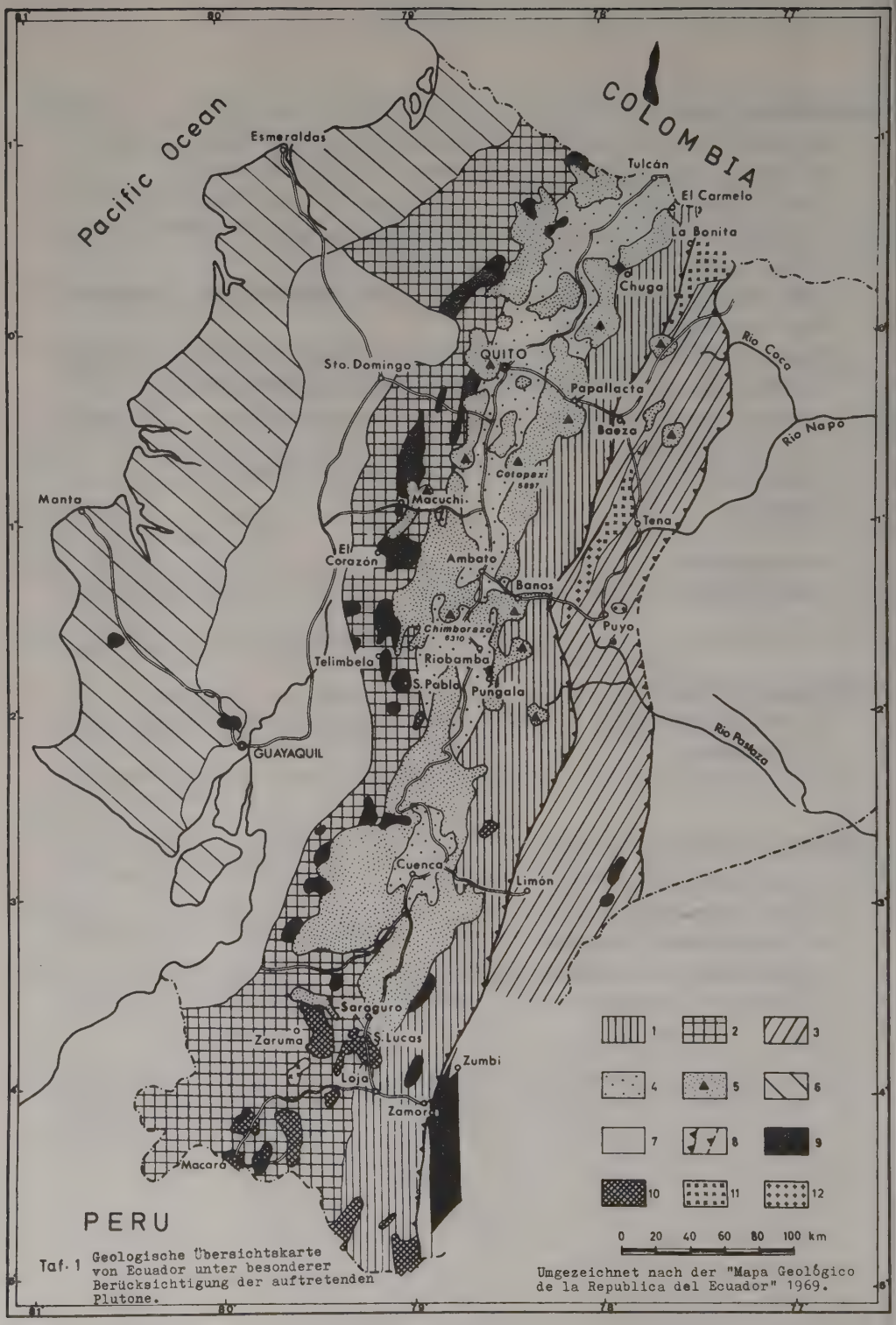
1 Metamorphite der E-Kordillere (Cordillera Real) und des südwestlichen Tieflandes
2 Basic Igneous Complex (Piñon-Formation) der W-Kordillere (Cordillera Occidental) und des Küstengebietes
3 Jura und Kreide der subandinen Kordilleren
4 Undifferenzierte pliozäne bis quartäre Vulkanite und Sedimente der Interandinen Senke
5 Neogene bis quartäre Vulkanite einschließlich wichtiger Vulkane
6 Mesozoische und känozoische Sedimente des Küstengebietes
7 Neogene bis quartäre Sedimente der Guayas-Tiefebene (W-Ecuador) und des Oriente
8 Regionale Bruchzonen, z. T. mit Überschiebungen
9 Tonalite
10 Granodiorite
11 Monzogranite
12 Alkaligranite

Legende zu Taf. 2:

1 - 8 entspricht Taf. 1
9 Plutonite

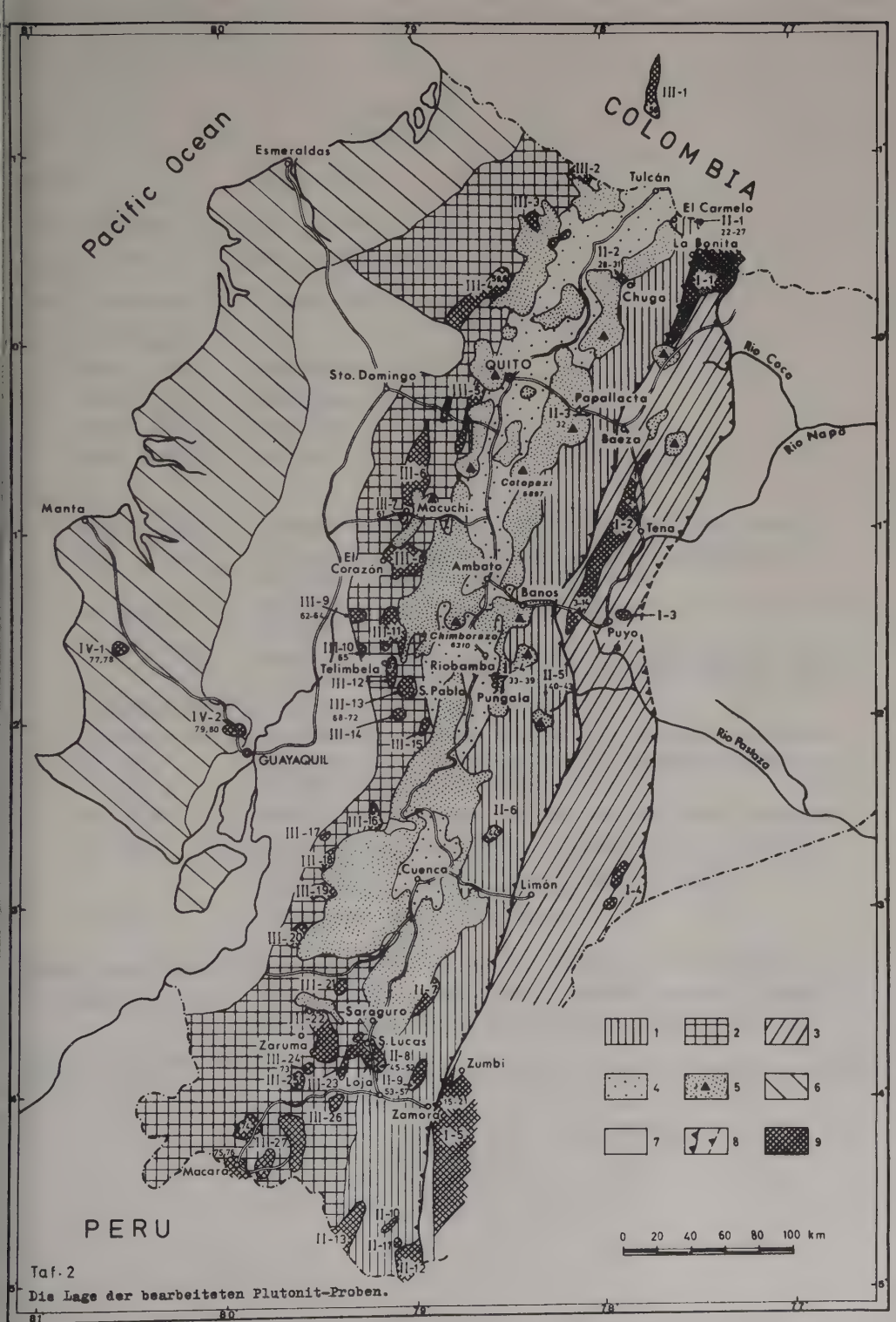
Legende zu Taf. 3: (S. 133)

1 - 8 entspricht Taf. 1
9 Jurassische Plutonite
10 Kretazische Plutonite
11 Kretazisch-tertiäre Plutonite
12 Tertiäre Plutonite



Taf. 1 Geologische Übersichtskarte von Ecuador unter besonderer Berücksichtigung der auftretenden Plutone.

Umgezeichnet nach der "Mapa Geológico de la Republica del Ecuador" 1969.



Taf. 2

Die Lage der bearbeiteten Plutonit-Proben.

LEBENSLAUF

Name:	Samir ALY
Geburtsdatum:	20. 1.1948
Geburtsort:	Tanta, Ägypten
Familienstand:	Verheiratet, ein Kind
Schulbildung:	
1954 - 1960	Volksschule in Tanta
1960 - 1963	Realschule in Tanta
1963 - 1966	Gymnasium in Tanta
Juni 1966	Abitur
Studium:	
1966 - 1970	Student an der Ain Shams-Universität in Kairo
Juni 1970	B. Sc. (Bakkalaureus) in Angewandter Geologie mit sehr guter Benotung (Honours)
Oktober 1970	Assistent am Geologischen Institut der Universität von Tanta
1971 - 1973	Magister-Arbeit mit dem Titel: "Geology of the Area around Gabal Um Khors, Eastern Desert, Egypt"
November 1973	Abschluss der Magister-Arbeit
Dezember 1973	Assistent-Lecturer an der Universität von Tanta
WS 1974	Antritt des DAAD-Stipendiums, Immatrikulation an der Universität in Bochum
WS 1977	Immatrikulation an der Universität von Tübingen
SS 1978	Beginn der Arbeit an der Dissertation mit dem vorliegenden Thema bei Prof. Dr. H. PICHLER am Mineralogisch-Petrographischen Institut
SS 1980	Abschluss der Dissertation

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten:

In Ägypten: ABBAS, AKAAD, BASSIOUNI, EL-ETR, HASSAN, MENEISY, NOWEIR, RASLAN, SAID, SOLIMAN, TAKLA, YOUSSEF

In der Bundesrepublik Deutschland:
Bochum: BEHR, CHATTERJEE, SAHL, SCHMINCKE, SCHREYER, TROCHIM

Tübingen: FRIEDRICHSEN, MÖLLENSTEDT, PICHLER, WEISKIRCHNER